

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

**Estimación de la edad humana basada en la medición del
volumen de la pulpa dental usando tomografías
computarizadas Cone-Beam**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Kilder Maynor Carranza Samanez

Directoras

María Rosa Mourelle Martínez
Gloria Saavedra Marbán

Madrid
Ed. electrónica 2019

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología IV (Profilaxis, Odontopediatría y Ortodoncia)



TESIS DOCTORAL

Estimación de la edad humana basada en la medición del volumen de la pulpa dental usando tomografías computarizadas Cone-Beam

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADO POR

Kilder Maynor Carranza Samanez

DIRECTORAS

María Rosa Mourelle Martínez

Gloria Saavedra Marbán

Madrid, 2018

**Departamento de Estomatología IV
Facultad de Odontología
Universidad Complutense de Madrid**



**ESTIMACIÓN DE LA EDAD HUMANA BASADA EN LA MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE LA
PULPA DENTAL USANDO TOMOGRAFÍAS COMPUTARIZADAS CONE-BEAM**

Kilder Maynor Carranza Samanez

Tesis Doctoral

Dirigida por:

Profa. Dr. D. María Rosa Mourelle Martínez

A Dana y Elio, mis padres, mi querida hermana Vanessa y Gael;
mi familia paterna y materna.

Para la persona que me hace un mejor hombre,
que me apoya y da fuerzas día a día,
juntos seguimos y seguiremos superando,
y logrando muchas cosas,
mi compañera de vida July.

AGRADECIMIENTOS

Expreso un gran agradecimiento a la Doctora María Rosa Mourelle Martínez por la confianza y el rol fundamental como guía durante el desarrollo de la investigación. Su dedicación, experiencia y conocimientos aportados, nos permitió lograr el reto. La virtud de la persistencia en la vida, es lo que me llevaré como un gran aprendizaje.

Agradecer a la Doctora Gloria Saavedra Marbán por involucrarse con la investigación y estar pendiente con su apoyo efectivo durante el desarrollo de la investigación que ha permitido que la tesis culmine a tiempo.

Un gran agradecimiento al Prof. Ricardo Ortega Aranegui, por brindar su completo apoyo durante el proceso de la recopilación y análisis de las muestras del estudio en España, su colaboración fue importante para la culminación de trabajo de investigación.

Al Prof. Claudio Costa como responsable de la estancia y a las personas del Departamento de Radiología de la Facultad de Odontología de la Universidad de Sao Paulo - Brasil; que de uno u otro modo colaboraron e hicieron efectiva los objetivos del trabajo de investigación.

Al Prof. Fernando Murillo Salazar, director de la Clínica Odontológica de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, Perú, por su aprobación y ayuda logística para llevar el trabajo del tercer estudio.

Al Programa de Doctorado en Ciencias Odontológicas, cada docente, estudiante y personal auxiliar, quienes con grandes o pequeñas acciones han repercutido en un todo, que es brindarme un ambiente agradable para aprender a aprender y mejorar cada día.

También quiero agradecer el gran apoyo por parte de:

Mis queridos padres Dana y Elio.

Mi querida hermana Vanessa, que será siempre una amiga incondicional.

Mis amigos/as sanmarquinos, son un gran pedazo afectivo de vida compartida.

Mi compañera de vida, Julissa; porque nunca dejaremos de aprender en nuestras vidas.

Los profesores, amigos y compañeros de los diferentes programas de estudios que compartí y despertaron en mí la curiosidad por investigar, mi alma mater la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el postgrado de Estomatología y Estadística de la Universidad Cayetano Heredia y el Máster de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

Los coordinadores, compañeros de profesorado y alumnado, quienes me brindaron una oportunidad única y valiosa de enseñar a aprender en el mundo maravilloso de la docencia, la Universidad Alas Peruanas, la Universidad Señor de Sipán y la Universidad César Vallejo.

Finalmente, gracias a FONDECYT-CONCYTEC; Perú, por la oportunidad de haber financiado mi estancia con una beca doctoral.

Y es así, que solo una confluencia de personas, lugar y momento determinado se han confabulado en concluir una investigación más para nuestra gran profesión. A todos ustedes, mi gratitud eterna.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	Resumen	06
II.	Introducción	09
	II.1. Estimación de la edad humana	09
	II.2. La edad dental como método de evaluación	10
	II.3. Imágenes dentales: Análisis de pulpa dental como estimador de edad	11
	II.4. Estudios sobre edad y volumen pulpar visto con tomografías Cone-Beam	13
III.	Justificación	17
IV.	Hipótesis	18
V.	Objetivos	19
VI.	Material y Métodos	20
 Estudio 1: Estimación de la edad humana en una muestra española basado en la medición del volumen de la cavidad/cámara pulpar en dientes premolares y molares visualizados con CBCT.		
 Estudio 2: Estimación de la edad humana en una población brasileña basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes anteriores mediante la utilización de CBCT.		
 Estudio 3: Estimación de la edad humana en una población peruana basada en el volumen de la cavidad/cámara pulpar de dientes premolares y molares, usando tomografía computarizada Cone-Beam.		
VII.	Resultados	28
VIII.	Discusión	38
IX.	Conclusiones en español	51
X.	Conclusiones en portugués	52
XI.	Referencias	53
XII.	Anexo: Figuras	56
XIII.	Anexo: Resumen en inglés	57
XIV.	Anexo: Resumen en portugués	60

I. RESUMEN

Antecedentes: La estimación de la edad de los individuos es un área de las ciencias forenses, que se está volviendo cada vez más importante para la evaluación de la categorización tanto legal como social. Existen diversos métodos para determinar la edad, sin embargo, la estimación es más difícil cuando se trata de personas vivas. En la mayoría de los casos, las evaluaciones se encuentran limitadas en tiempo y precisión, sea porque el proceso de maduración se ha completado o porque los factores ambientales suelen influenciar en los procesos degenerativos. Nuevas líneas de investigación buscan estimar la edad en función de la pulpa dental. Esto se explica por su posible relación con los cambios morfológicos de la pared pulpar producto de la deposición de dentina secundaria. Tomografías computarizadas Cone Beam (CBCT) pueden ayudar a reducir la variación de los volúmenes de pulpa. La hipótesis de estudio fue que existe una relación entre la edad humana y el volumen del conducto y/o cámara de la pulpa dental evaluados mediante CBCT.

Objetivo: El objetivo de esta serie de trabajos fue analizar la correlación de la edad humana en una muestra española y la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes posteriores mediante la utilización de CBCT (Estudio 1), comparar la precisión de la estimación de la edad humana mediante el análisis volumétrico CBCT de seis dientes anteriores en forma individual o grupal de una muestra brasileña (Estudio 2); y determinar si es posible estimar la edad humana de una muestra peruana mediante un método basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar de CBCT tomadas de dientes caninos y premolares (Estudio 3).

Materiales y Métodos:

Estudio 1. Se recogieron imágenes CBCT de 105 individuos españoles (46 hombres y 59 mujeres) de entre 12 y 71 años. En total, se analizaron imágenes de 95 premolares y 148 molares de la base de datos de una clínica privada de radiología. Los criterios de inclusión de los dientes fueron: sin caries, sin lesiones o calcificación de la pulpa y sin tratamiento dental. Los datos DICOM se importaron en el software ITK-SNAP 3.6 para el cálculo del volumen de la cavidad pulpar en premolares y el volumen de la cámara pulpar en los molares. Se obtuvieron modelos de regresión logarítmica para analizar la relación entre la edad y el volumen de pulpa.

Estudio 2. Se recogieron imágenes CBCT de 70 individuos brasileños (32 hombres y 38 mujeres) con edades comprendidas entre 13 y 71 años. En total, se analizaron 420 imágenes entre seis tipos de dientes (incisivos centrales maxilares e inferiores, incisivos laterales y caninos) de la base de datos de una clínica dental universitaria de radiología. Los criterios de inclusión de los dientes fueron: sin caries, sin lesiones o calcificación de la pulpa y sin tratamiento dental. Los datos DICOM se importaron a ITK-SNAP 3.6 para el cálculo de los volúmenes de la cavidad pulpar. Se analizaron modelos de regresión lineal múltiple para evaluar la relación entre la edad y el volumen de pulpa.

Estudio 3. Se recogieron imágenes de CBCT de 55 individuos peruanos (19 hombres y 36 mujeres) de entre 12 y 71 años. En total, se analizaron 55 imágenes de caninos maxilares (U3), 55 caninos mandibulares (L3) y 55 primer premolar mandibular (L4) de la base de datos de una clínica dental universitaria de radiología. Los criterios de inclusión de los dientes fueron: sin caries, sin lesiones o calcificación de la pulpa y sin tratamiento dental. Los datos DICOM se importaron a ITK-SNAP 3.6 para el cálculo de los volúmenes de la cavidad pulpar. Se obtuvieron modelos de regresión logarítmica para analizar la relación entre la edad y el volumen de pulpa.

Resultados:

Estudio 1. El modelo de regresión mostró el mayor coeficiente de determinación (R^2) para los primeros molares maxilares y los primeros premolares mandibulares en los varones (89.7% y 73.4%, respectivamente); y primeros molares mandibulares y primeros premolares mandibulares en las mujeres (74% y 73%, respectivamente). Los valores más bajos del error estándar residual en todos los grupos de edad se encontraron con los primeros premolares mandibulares (6,24) de personas de más de 31 años, los primeros molares superiores (7,86) de personas menores de 40 años y los primeros molares mandibulares (8,09) de las personas menores de 60 años.

Estudio 2. Los modelos de regresión lineal de dientes anteriores se derivaron para predecir la edad. Un mayor coeficiente de determinación (R^2) fue encontrado en los incisivos centrales mandibulares de los varones ($R^2=0.605$) y caninos maxilares de las mujeres ($R^2=0.479$). El análisis de regresión lineal múltiple por método inverso entre los seis tipos de dientes consideró la combinación de caninos maxilares, incisivos centrales superiores e incisivos laterales mandibulares en los varones ($R^2=0.738$) y la combinación de incisivos laterales superiores e incisivos centrales mandibulares en las mujeres ($R^2=0.661$).

Estudio 3. Se obtuvieron modelos de regresión logarítmica de todos los dientes para predecir la edad. Los primeros premolares mandibulares tuvieron el mayor R^2 en las mujeres ($R^2=0.483$), seguido de los varones ($R^2=0.458$) y el total de muestras ($R^2=0.457$). El análisis de regresión logarítmica múltiple por método inverso entre los tres tipos de dientes consideró la combinación de caninos maxilares y primeros premolares mandibulares en los varones ($R^2=0.601$), las mujeres ($R^2=0.552$) y el total de géneros agrupados ($R^2=0.559$).

Conclusiones: Tras el análisis de los tres estudios, puede concluirse que el volumen de pulpa dental tiene una relación inversa con la edad, aumentando su precisión con el análisis de múltiples dientes, siendo una variable útil para estimar la edad con una precisión satisfactoria.

PALABRAS CLAVE: Estimación de la edad, TC Cone Beam, volumen de la cavidad pulpar, volumen de la cámara de pulpa, ciencias forenses

II. INTRODUCCIÓN

1. Estimación de la edad humana

La edad es definida según la Real Academia Española como “el tiempo que ha vivido una persona o cosa o ciertos animales o vegetales”. Esta definición enfocada a las personas hace referencia a un concepto global desde una valoración social, legal y biológica. Sin embargo, la complejidad del crecimiento y desarrollo del ser humano hace necesario que edad deba ser estudiada desde diversos enfoques.

Sin previa información, catalogar la edad es un hecho muy variable, viéndolo desde el punto de vista de quién hace esta puntuación. Un adolescente puede tener apariencia de niño o viceversa, mientras que un adulto puede parecer anciano o viceversa. Para entender la definición de la edad efectiva de una persona se pueden entender los tipos cronológico, biológico, psicológico y social (Agogo et al., 2017).

La edad cronológica es también llamada edad real y es definida como los años transcurridos por el calendario desde el nacimiento, sin tener en cuenta el periodo intrauterino. La cronología marca un criterio administrativo de gran importancia, sobretodo, desde una perspectiva de valoración social y legal. No obstante de su importancia, el uso de la escala de tiempo no es equivalente con el desarrollo de la maduración (Jia et al., 2017).

La edad biológica es un indicador de la madurez biológica de un individuo. Esto se traduce en la disminución o deterioro de los órganos, el cambio físico y la modificación del desarrollo. Al diferenciarse de la edad cronológica, distintas especialidades usualmente solicitan la evaluación biológica para valorar aspectos médicos como diagnóstico y/o tratamiento y otros como dudas ante casos de orden jurídico (Cameron, 2015).

La edad ósea es un indicador de madurez biológica frecuentemente utilizada por los evaluadores. Se visualiza mediante radiografías de manos y muñecas hasta antes de los 18 años de edad, momento en que la maduración se da por concluida. Después del desarrollo esquelético de la mano, la evaluación de la osificación de la epífisis clavicular medial es la herramienta de evaluación más importante, ya que son los últimos huesos que se osifican en todo el esqueleto. Suelen vistas con tomografía computarizada en personas de 18 a 22 años (Gurses et al., 2016).

La evaluación e interpretación de la edad relacionada a los cambios morfológicos y estructurales de la edad biológica de los individuos vivos o muertos es de interés para una variedad de disciplinas que incluyen la biología humana, pediatría, salud pública, paleodemografía, arqueología, paleontología, desarrollo humano, antropología forense y medicina legal (Liversidge et al., 2015). Asimismo, la estimación de la edad para categorizar a personas vivas es más difícil, por lo que se está volviendo cada vez más relevante, sobretodo, para casos en procesos legales y sociales (Marquez-Grant, 2015).

La estimación de la edad forense ha sido recomendada por el "Study Group on Forensic Age Diagnostics" para evaluar casos de derecho penal y civil. Esto permite a los tribunales y otras autoridades gubernamentales determinar la edad oficial de las personas cuya edad real se desconoce, en la mayoría de los casos, los refugiados y solicitantes de asilo, delincuentes juveniles, víctimas de trata de personas, víctimas de pornografía infantil, niños adoptivos de países sin registro de nacimiento, casos de pensiones para jubilación de ancianos y evaluación de atletas en deportes competitivos (Sykes et al., 2017; Schmeling et al., 2017).

2. La edad dental como método de evaluación

La maduración dental es un método alternativo a los indicadores de maduración ósea. La edad dental es ampliamente estudiada en las Ciencias Forenses, esto debido a que su grado de mineralización de los dientes se ve menos afectados por la nutrición y los estados endocrinos en comparación con la mineralización en los huesos de las extremidades como mano y clavícula (Manzoor Mughal et al., 2014).

En 1837, se publicó el primer escrito breve sobre la aplicación del desarrollo del diente para estimar la edad (Saunders, 1837). Desde entonces, han sido descritos múltiples métodos. En 1897, la radiología fue aplicada por primera vez en las ciencias forense, esto sucedió un año después del descubrimiento de los rayos X por Conrad Röntgen. Desde mediados del siglo XX (Bjørk & Kvaal, 2018).

Los dientes constituyen elementos de gran utilidad para estimar la edad cronológica de un individuo. Los procedimientos de evaluación varían según el grado de maduración dental. En niños, la edad dental puede ser calculada por la erupción de los dientes en la cavidad bucal o a través de la evaluación radiográfica del desarrollo del germen dentario expresada como estadios de maduración (Lewis & Senn, 2015).

La maduración dental tiene como ventaja de que a edades tempranas, numerosos dientes se encuentran en desarrollo simultáneo. Resulta un método confiable hasta los 21 años, momento en que el desarrollo de los terceros molares ha concluido. Sin embargo, la precisión puede disminuir por la escasa resistencia de los huesos al proceso tafonómico (cambios óseos post-mortem) y en caso de ausencia de terceros molares (Shahin et al., 2013).

En relación a los dientes, las patologías orales vistas en secciones de dientes también se han utilizado como métodos de estimación de la edad. Se mencionan como métodos las líneas incrementales de Retzius, el método de Gustafson, perikymata, la formación de la línea natal y neonatal dentaria, la racemización de colágeno en dentina, las líneas incrementales del cemento, el grosor del cemento y la translucidez de dentina (Shamim, 2018).

A pesar de que las estructuras dentales se caracterizan por su dureza y resistencia frente a factores físicos y químicos externos. Más allá de este potencial, los métodos sobre procesos degenerativos orales resultan invasivos por lo que requieren a menudo la extracción dentaria, siendo poco práctica su aplicación en personas vivas. Además, pueden estar limitadas solo a ciertos grupos de edades. Para hacer frente a la limitación de métodos invasivos, se han propuesto técnicas conservadores que implican el uso de radiografías dentales (Gupta et al., 2014).

3. Imágenes dentales: Análisis de pulpa dental como estimador de edad

Un método alternativo de estimación de la edad dental en adultos es la evaluación de la pulpa dental. Un diente recién erupcionado tiene una amplia cámara pulpar con una forma exterior similar al diente. Con el tiempo, estímulos internos y externos ocasionan que su tamaño se reduzca hasta el límite de su desaparición. En paralelo a este cambio, depósitos de dentina secundaria se forman en la pared pulpar alterando su morfología (Chu et al., 2018).

En 1925, Bodecker propuso la relación edad cronológica y la dentina secundaria. Explicó que la formación de dentina secundaria se da luego del completo desarrollo y posición oclusal del diente (corona-raíz). Propuso que al presentarse depósitos de dentina secundaria sobre el extremo pulpar de dentina primaria, la cavidad disminuiría en tamaño con el paso del tiempo. Asimismo, sugirió que su influencia sería mayor a eventos como la atrición o irritación, debido a que habría mayor cantidad de depósitos de dentina sobre el piso de cámara pulpar que en techo pulpar (Bodecker, 1925).

El análisis del complejo dentino-pulpar resulta un método mínimamente invasivo, que no requiere la extracción de la pieza dentaria y es aplicable a distintas poblaciones. Sus métodos de estimación pueden incluir mediciones de longitud / ancho, área o volumen visualizados y medibles con técnicas de imagen. Independientemente de la técnica de observación, el fenómeno relacionado a la edad está basado en el cambio producido en la cavidad de pulpa dental por acción de la dentina secundaria (Panchbhai, 2011).

En 1950, Gustafson realizó el primer estudio sobre la edad pulpar mediante radiografías relacionando la formación de dentina secundaria con el estrechamiento de la cavidad pulpar (Gustafson, 1950). El método con radiografías dentales se presenta simple, rápido y no destructivo para la identificación de la edad. Además, ha mejorado en calidad con la introducción de imágenes digitales. Con ello ha facilitado las mediciones pudiendo ser aplicado a personas vivas y muertas (Vandevoort et al., 2004).

La evaluación mediante radiografías periapicales y panorámica son más convenientes de ser realizadas en las metodologías de estimación de edad pulpar basadas en las longitudes de cavidad pulpar (Ej. Método de Kvaal) y la relación pulpa / diente (Ej. Método de Cameriere), debido a que no afecta su precisión. Mientras el método con volumen de pulpa dental requiere la reconstrucción volumétrica de estructuras dentales con ayuda de un software de imágenes (Marroquin et al., 2017).

El método de Kvaal fue originalmente aplicado para medir la longitud máxima del diente y de la raíz, y el ancho de la pulpa y raíz dental de seis dientes maxilares y mandibulares visualizados mediante radiografías periapicales (Kvaal et al., 1965). Este método ha sido modificado por otros estudios e incluso calculados en radiografías panorámicas. De 29 estudios sobre el método Kvaal, a la fecha, se ha aplicado a 3254 individuos de 12 diferentes países (Marroquin et al., 2017).

El método de Cameriere fue originalmente aplicado para medir el área pulpa / diente de dientes monoradiculares (Cameriere et al., 2004). Frecuentemente, se han visualizado caninos y luego se ha probado en premolares e incisivos centrales y laterales. Este método ha sido modificado por otros estudios e incluso calculados en radiografías panorámicas. Actualmente, existen 29 estudios sobre el método Cameriere, aplicado a 4167 individuos de 11 diferentes países (Marroquin et al., 2017).

Los métodos de Kvaal y de Cameriere requieren técnicas simples y con buena reproducibilidad. No obstante, tienen como desventajas que la calidad de la imagen debe permitir al observador limitar de forma clara el conducto radicular de la superficie dentaria (Limdiwala & Shah, 2013). Algunos estudios no encontraron relación entre la edad y la longitud dentaria. Consideran que factores como el desgaste dental, bruxismo y hábitos alimentarios estarían más relacionados a cambios en las longitudes de los dientes que al envejecimiento fisiológico (Rajpal et al., 2016).

4. Estudios sobre edad y volumen pulpar visto con tomografías Cone-Beam

El volumen pulpar es un indicador de edad dental que requiere la reconstrucción volumétrica de las estructuras dentarias. El procedimiento parte de la radiografía del diente, luego se realizan las mediciones de volumen previo trazado de los bordes de diente y pulpa dental a través de software volumétrico manual o semiautomático. La técnica manual necesitaría del entrenamiento del evaluador, mientras un trazado automático reduciría el tiempo de evaluación y el sesgo del evaluador (Cameriere et al., 2015).

El análisis de volumen pulpar, además de ser una técnica no destructiva y con dosis de radiación relativamente bajas. Este método tiene como principal ventaja la precisión, ya que las exploraciones de pulpa dental con tomografías no tienen error por distorsión de aumento, que es una característica común en radiografías convencionales. No obstante, la técnica requiere de la práctica previa de los evaluadores, sobretodo, en la identificación de la unión cemento esmalte para casos donde es necesario hallar el volumen de cámara pulpar. También requiere el uso de software más complejos, que no siempre son de libre acceso (Yang et al., 2006).

El primer estudio sobre edad relacionada al volumen de pulpa / diente fue realizada mediante microtomografías computarizadas (Vandevoort et al., 2004). A partir de 1990, se han descrito estudios en imágenes tridimensionales tipo tomografías computarizadas convencionales y tomografías computarizadas Cone-Beam (CBCT). Aunque las microtomografías muestren mayor precisión, actúan mejor sobre áreas pequeñas y en dientes extraídos. CBCT brinda información más detallada, produce menor radiación y artefactos, y es más rentable en comparación a las tomografías convencionales. Sin embargo no tiene un uso frecuente en el consultorio dental (Sarment & Christensen, 2014).

Aunque en las ciencias forenses hace uso frecuente de regresiones lineales para estudiar la edad de muerte o la estatura de vida, se debe tener en cuenta que el crecimiento humano no es un proceso lineal (Meinl et al., 2007). Actualmente, no existe evidencia de que el proceso de formación de dentina secundaria siga un patrón lineal en cantidad o por grupos de edad. Sin embargo, el proceso de deposición podría estar influenciado por factores de raza, dieta y los estilos de vida (Rajpal et al., 2016).

En la literatura existen 10 estudios (Tabla 1) sobre el método del volumen pulpar mediante CBCT, aplicado a 1502 individuos de 7 diferentes países como Bélgica (Yang et al., 2006; Star et al., 2011), Brasil (Porto et al., 2015), China (Ge et al., 2015/2016), India (Jagannathan et al., 2011), Irán (Biuki et al., 2017), Italia (De Angelis et al., 2015; Pinchi et al., 2015) y Malasia (Asif et al., 2018). La mayoría ha aplicado una reconstrucción semiautomática del volumen con diferentes softwares de imágenes y ha generado modelos de regresión estadística para estimar la edad según el volumen pulpar. Solo un estudio realizó correlaciones múltiples con al menos seis dientes (Ge et al., 2016).

Usualmente, se estudiaron dientes monoradiculares, cuyo cálculo del volumen fue total de la cavidad pulpar. Solo hubo dos estudios que evaluaron dientes multiradiculares mediante el volumen de cámara pulpar (Ge et al., 2015/2016). Un estudio sobre las diferencias de estos cálculos de volúmenes muestra que la medición de cámara pulpar podría recomendarse debido a que requiere de menor tiempo y es más fiable porque no necesita una intervención manual para reconstruir múltiples segmentos (Asif et al., 2018).

La tasa de supervivencia de un tipo de diente puede generar ventajas en comparación a otros dientes, mostrando menos desgaste y mayor área de cámara pulpar (De Angelis et al., 2015). En ese contexto, es probable que esto esté relacionado a la mayor frecuencia de estudios que evalúan los dientes caninos (6 de 10 papers), ya que suelen ser los dientes con mayor tasa de supervivencia en comparación con el resto y porque presentan una amplia cámara pulpar.

La mayoría de resultados de estudios que han investigado los cambios volumétricos CBCT de pulpa dental con la edad en diferentes poblaciones, informaron una fuerza inversa de las correlaciones con una precisión significativa. Sin embargo, según dos revisiones sistemáticas sobre la edad pulpar en imágenes radiográficas, evaluaron que la limitada información existente en el tema requiere de mayor investigación (Queiroz et al., 2016; Asif et al., 2018).

Tabla 1. Características de los artículos de referencia

Autor	Año	País	n	Edad	Sexo	Segmentación	Tipo CBCT	Método	Instrumento	Dientes	Precisión (r ²)
Yang et al.	2006	Bélgica	19	23-70	8 v 11 m	Semiautomático	Accuitono	Radio volumen pulpa/diente	MatLab®	11/12/1.3 /2.3/3.3	r=0.31
Jagannathan et al.	2011	India	140	10-70	73 v 67 m	Semiautomático	Accuitono	Radio volumen pulpa/diente	Advantage Windows Workstation	33/43	r=0.397
Star et al.	2011	Bélgica	111	10-65	54 v 57 m	Semiautomático	Scanora 3D	Radio volumen pulpa/diente	Simplant®	Incisivos, caninos, premolares	r=0.41 (i); r=0.07 (c); r=0.23(p)
De Angelis et al.	2015	Italia	91	17-80	42 v 49 m	Manual	i-Cat Next Generation	Radio volumen pulpa/diente	Osirix software®	13	r=0.39; r=0.48 (m); r=0.26 (v)
Ge et al.	2015	China	403	12-69	213 v 190 m	Semiautomático	NewTom VG	Volumen pulpar	ITK-snap 2.4	16/26/36/ 46	r=0.66 (16/26); r=0.60 (36/46)
Pinchi et al.	2015	Italia	148	10-80	57 v 91 m	Semiautomático	Scanora 3D	Radio volumen pulpa/diente	Osirix software®	21	r=0.58 (30-59 años)
Porto et al.	2015	Brasil	118	22-70	50 v 60 m	Automático	i-Cat Next Generation	Radio volumen pulpa/diente	DentalSlice®	11/21	r=0,21; r=0.15 (v); r=0.30 (m)
Ge et al.	2016	China	240	16-63	125 v 115 m	Semiautomático	NewTom VG	Volumen pulpar	ITK-snap 2.4	13 tipos de dientes	r=0.64 (17/27)
Biuki et al.	2017	Irán	122	13-70	46 v 76 m	Automático	NewTom VG	Radio volumen pulpa/diente	Mimics 10.01	11/21/31/ 41/13/23/ 33/43	r=0.86 (m); r=0,92 (v)
Lee et al.	2017	Korea	205	22-77	109 v 115 m	Semiautomático	CS 9300, Carestream	Radio volumen pulpa/diente	MatLab®	13	R=0.53
Nemsi et al.	2018	Túnez	120	22-67	65 v 55 m	Semiautomático	Galileos Sirona	Radio volumen pulpa/diente	Adobe Photoshop CC	23/35	r=0.70 (13/23/45/55)
Asif et al.	2018	Malasia	110	16-65	54 v 56 m	Semiautomático	i-Cat Imagin System	Radio volumen pulpa/diente	Mimics 16.0	11/21	r=0.88

Algunos resultados generales de los artículos de referencia se resumen a continuación:

Desde 2006 se viene utilizando CBCT para estimar la edad con el volumen pulpar. El primer estudio piloto aplicado por Yang et al. (2006) ya indicaba resultados prometedores para su uso en odontología forense.

Los resultados de Star et al. (2011) y Asif et al. (2018) mostraron un modelo de regresión lineal ajustado a la edad como variable dependiente y donde las relaciones obtenidas del volumen de pulpa-diente fueron más fuertes en los incisivos. Esto mismo fue concluido por Jagannathan et al. (2011) y Lee et al. (2017) respecto al volumen de los caninos. Y Nemsí et al. (2018) respecto al volumen de caninos maxilares y segundos premolares mandibulares.

En 2015, Ge et al., llegó a la conclusión que el volumen de la cámara pulpar del primer molar es un índice útil para la estimación de la edad humana con una precisión óptima en una muestra china (Ge et al., 2015).

Según De Angelis et al., (2015), la contracción de la pulpa relacionada a los años debería ser analizada enfocada a muestras grandes, que distribuyan grupos de edad y que desarrollen fórmulas de regresión poblacionales.

La investigación de Pinchi et al. (2015) mostró la importancia de la edad pulpar en grupos de 30 a 59 años, donde la precisión de la edad fue mayor. Aunque consideró relevante evaluar los grupos étnicos y sus influencias.

Para Porto et al. (2015), los análisis de regresión lineal mostraron coeficientes de determinación que sugerían que la correlación entre la edad y el volumen de cavidad pulpar de incisivos centrales maxilares era débil.

En 2016, Ge et al., encontró que de trece tipos de dientes, el segundo molar maxilar mostraba la mayor correlación respecto a la edad. Asimismo, mostró que el uso de múltiples dientes mejora la precisión de la estimación que en comparación con un solo tipo de diente.

Biuki et al. (2017) encontraron correlaciones inversas altas entre la edad y los volúmenes de cavidad pulpar de dientes anteriores. Sugirió la posibilidad de obtener correlaciones fuertes entre múltiples volúmenes de dientes anteriores.

III. JUSTIFICACIÓN

La estimación de la edad en individuos vivos es un desafío para las ciencias forenses. Hoy es cada vez más importante para la evaluación de la categorización en el derecho legal y civil, especialmente, en situaciones donde los tribunales y autoridades gubernamentales necesitan determinar la edad oficial de las personas cuya edad real se desconoce.

El enfoque del análisis de edad es detectar características idénticas durante el desarrollo de las personas. El examen físico, la radiografía de mano-muñeca y el desarrollo dental son usados como métodos forenses tradicionales. La dificultad se encuentra al estimar personas vivas, sobre todo, cuando se busca utilizar métodos no invasivos.

Los dientes tienen potencial de estimación debido a que su grado de mineralización se ve menos afectada por factores externos en comparación a los huesos de la mano. Algunos de sus métodos disminuyen su precisión a medida que el desarrollo humano se ha completado, mientras otros resultan invasivos y poco prácticos en personas vivas. Para hacer frente a estas limitaciones, se han propuesto técnicas conservadores con imágenes dentales.

Un predictor de edad medible en radiología es el complejo dentino-pulpar. Su base científica se explica por los depósitos de dentina secundaria sobre el extremo pulpar de dentina primaria que harían disminuir el tamaño de la cavidad con el paso del tiempo. Técnicas CBCT son mínimamente invasivas y permiten el cálculo del volumen evitando distorsión.

El método basado en pulpa dental puede incluir mediciones de longitud, área y volumen. Aunque es frecuente hacer uso de estimaciones lineales, se debe tener en cuenta que el crecimiento humano no sigue un proceso lineal. Por ello se están llevando a cabo estudios sobre el volumen pulpar, con pocos estudios a la fecha que han utilizado CBCT. Los autores resaltan la necesidad de lograr resultados más precisos con fórmulas específicas para cada población debido a las diferencias en etnicidad.

La limitación en la información disponible sobre la estimación de la edad basado en el volumen pulpar, justifican el interés de este trabajo. Se pretende analizar el método, desde la correlación edad y volumen pulpar de dientes posteriores en una muestra española, su precisión en cuanto a analizar múltiples dientes en una muestra brasileña, y su aplicabilidad con dientes caninos y premolares en una muestra peruana.

IV. HIPÓTESIS

La **hipótesis general** del estudio fue que existe una relación entre la edad humana y el volumen del conducto y/o cámara de la pulpa dental evaluados mediante CBCT.

De manera concreta, se plantean las siguientes **hipótesis específicas**:

Hipótesis específicas

1. La edad humana está correlacionada de forma inversa al volumen de cavidad y/o cámara pulpar de dientes posteriores vistos en imágenes CBCT de una muestra española.
2. El análisis de múltiples tipos de dientes anteriores de una muestra brasileña mejora la precisión de la estimación de la edad en comparación con un solo tipo de diente utilizado.
3. La evaluación de imágenes CBCT del volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y premolares se presentan útiles para estimar la edad humana de una muestra peruana.

V. OBJETIVO

Objetivo general

Evaluar la relación entre la edad humana y el volumen de la cavidad/conducto de la pulpa dental de imágenes CBCT en muestras de España, Brasil y Perú.

Objetivos específicos

1. Analizar la correlación de la edad humana en una muestra española y la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes posteriores mediante la utilización de CBCT (Estudio 1).
2. Comparar la precisión de la estimación de la edad humana mediante el análisis volumétrico CBCT de seis dientes anteriores en forma individual o grupal de una muestra brasileña (Estudio 2).
3. Determinar si es posible estimar la edad humana de una muestra peruana mediante un método basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar de CBCT tomadas de dientes caninos y premolares (Estudio 3).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Ética

Estudio aprobado por el Comité Ético Hospital San Carlos: registro CI 17/204-E (Anexo 1).

1. Estudio 1.

Estimación de la edad humana en una muestra española basado en la medición del volumen de la cavidad/cámara pulpar en dientes premolares y molares visualizados con CBCT.

1.1. Recolección de muestra

Se analizaron 1150 imágenes CBCT de pacientes. Las imágenes fueron derivadas de la base de datos 2016 y 2017 de una Clínica Dental privada de Madrid – España. Con fines de estudio, se registró la fecha de nacimiento y el sexo de todos los sujetos.

1.2. Muestra

Se seleccionaron 105 CBCT, de los cuales 46 varones y 59 mujeres, de pacientes entre 12 y 71 años. Los dientes evaluados fueron 95 premolares y 148 molares.

1.3. Criterios de selección

Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 12 años.
- Con al menos dos dientes posteriores (premolares o molares).
- Con dientes con desarrollo completo y ápices cerrados.
- Con dientes sin caries, ni restauraciones, ni lesiones periapicales, ni reabsorción radicular, ni calcificación pulpar, ni endodoncia, ni tratamientos.

Criterios de exclusión

- CBCT de baja calidad que no permitieran la visualización de cavidad pulpar.
- Dientes sin anatomía dental normal.
- Primeros premolares superiores, debido al complejo sistema de raíces.

1.4. Distribución de la muestra

Se presentada a continuación la distribución de la muestra.

Tabla 1. Distribución por edad y sexo por tipo de diente del estudio 1

Grupo de edad (años)	Sexo		Tipo de diente						
	Varón	Mujer	U5	U6	U7	L4	L5	L6	L7
12-20	2	9	4	6	6	2	2	8	4
21-30	7	10	7	7	6	4	5	6	7
31-40	8	8	5	8	7	7	6	6	6
41-50	11	10	6	6	6	8	8	6	6
51-60	9	12	6	5	6	6	6	10	7
61-71	9	10	5	6	2	5	3	5	6
Total	46	59	33	38	33	32	30	41	36

U maxilar, L mandibular, 4 primer premolar, 5 segundo premolar, 6 primer molar, 7 segundo molar

1.5. Procesamiento de CBCT

Las imágenes fueron obtenidas con un dispositivo CBCT PaX-Reve 3D (Vatech, E-WOO Technology Co, Ltd. República de Corea). Las CBCT fueron tomadas con voltaje de 85 kVp, intensidad de 4-10 mA, tamaño vóxel de 0.08-0.25 mm, resolución de 1.8 x 2 x 1.85 mm, tiempo de exposición de 15 segundos y campo de visión de 5 x 5 cm a 12 x 8.5 cm. Todas las imágenes CBCT fueron analizadas previamente utilizando el programa de imágenes CS 3D (Versión 3.5.18) para evaluar los criterios de inclusión y exclusión.

1.6. Análisis morfométrico

Luego de la evaluación de criterios, las imágenes CBCT seleccionadas se exportaron en archivos DICOM, reconstruidos con un tamaño vóxel de 0,15 mm. El tiempo requerido para la realización de este paso fue de aproximadamente 2 minutos. La visualización de imágenes se realizó con el programa ITK-SNAP Versión 3.6 (software de fuente abierta, www.itksnap.org). El cálculo de volumen de cavidad para premolares y cámara pulpar para molares se realizó de forma semiautomática con una duración de 30 minutos por diente. Primero, el software calculó el volumen de la cavidad de pulpa dental en milímetros cúbicos (mm³). Luego, de forma manual se corrigieron las delimitaciones del diente y pulpa dental. El volumen de cavidad fue tomada en integro; mientras el volumen de cámara no consideró el complejo de raíces a nivel de piso de cámara pulpar (Figura 1).

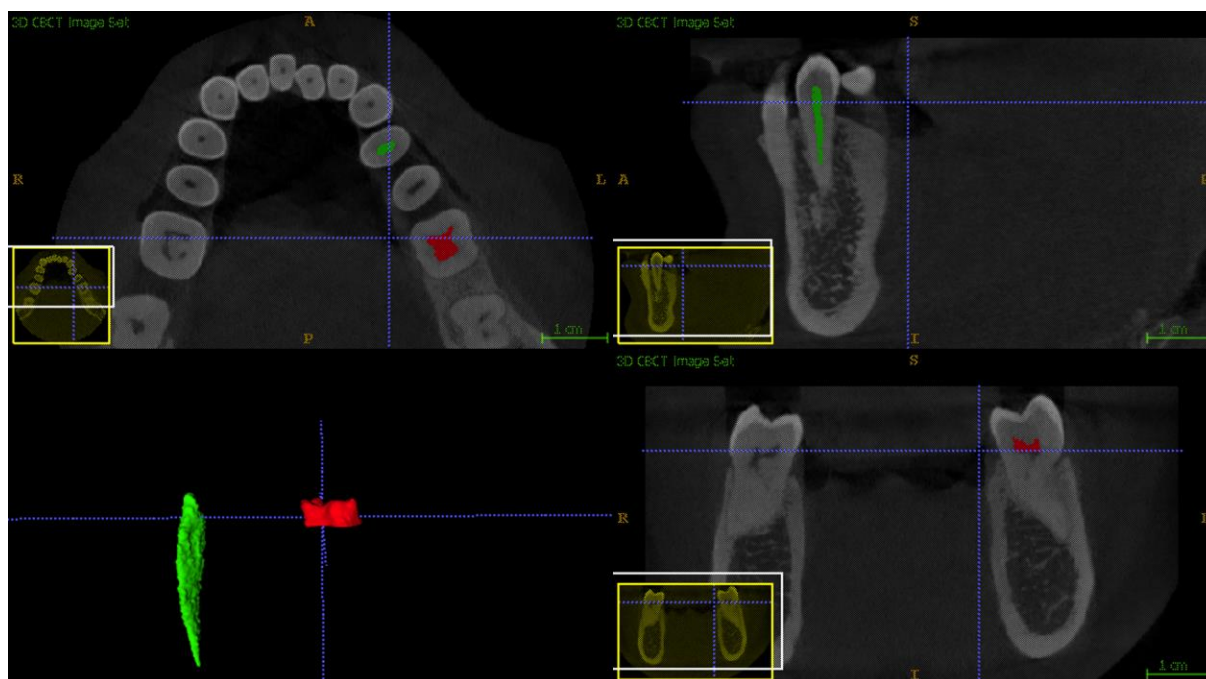


Figura 1. Segmento de imagen final de cavidad pulpar en premolares y cámara pulpar en molares

1.7. Calibración

Un mismo examinador llevó a cabo toda la evaluación. Se analizó la reproducibilidad intra-observador en una muestra aleatoria de 12 CBCT (dos por tipo de diente), reexaminadas en un intervalo de 2 semanas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo la comparación inter-observadores. Las exploraciones utilizadas en este estudio no se incluyeron en la investigación principal.

2. Estudio 2

Estimación de la edad humana en una muestra brasileña basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes anteriores mediante la utilización de CBCT.

2.1. Recolección de muestra

Se analizaron 1100 imágenes CBCT de pacientes. Las imágenes fueron derivadas de la base de datos 2012-2014 del Laboratorio para Análisis y Procesamiento de Imágenes del Departamento de Radiología de la Facultad de Odontología de la Universidad de São Paulo – Brasil. Con fines de estudio, se registró la fecha de nacimiento y el sexo de todos los sujetos.

2.2. Muestra

Se seleccionaron 70 CBCT, de los cuales 32 varones y 38 mujeres, de pacientes entre 13 y 71 años. Los dientes evaluados fueron 420, distribuidos proporcionalmente entre incisivos centrales, incisivos laterales y caninos maxilares y mandibulares.

2.3. Criterios de selección

Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 12 años.
- Con al menos seis tipos de dientes anteriores (incisivo central maxilar, incisivo lateral maxilar, canino maxilar, incisivo central mandibular, incisivo lateral mandibular, canino mandibular).
- Con dientes con desarrollo completo y ápices cerrados.
- Con dientes sin caries, ni restauraciones, ni lesiones periapicales, ni reabsorción radicular, ni calcificación pulpar, ni endodoncia, ni tratamientos.

Criterios de exclusión

- CBCT de baja calidad que no permitieran la visualización de cavidad pulpar.
- Dientes sin anatomía dental normal.

2.4. Distribución de la muestra

Se presentada a continuación la distribución de la muestra.

Tabla 2. Distribución por edad y sexo por tipo de diente del estudio 2

Grupo de edad (años)	Sexo		Tipo de diente					
	Varón	Mujer	U1	U2	U3	L1	L2	L3
13-20	4	3	7	7	7	7	7	7
21-30	6	5	11	11	11	11	11	11
31-40	3	8	11	11	11	11	11	11
41-50	8	8	16	16	16	16	16	16
51-60	5	8	13	13	13	13	13	13
61-71	6	6	12	12	12	12	12	12
Total	32	38	70	70	70	70	70	70
<i>U maxilar, L mandibular, 1 incisivo central, 2 incisivo lateral, 3 canino</i>								

2.5. Procesamiento de CBCT

Las imágenes fueron obtenidas con un dispositivo CBCT Gendex CB500 (Gendex Dental Systems, Des Plaines, IL). Las CBCT fueron tomadas con voltaje de 90-120 kVp, intensidad de 3-8 mA, tamaño vóxel de 0.2 mm, resolución de 1.22 x 1.17 m, tiempo de exposición de 23 segundos y campo de visión de 8 x 14 cm. Todas las imágenes CBCT fueron analizadas previamente utilizando el programa de imágenes i-CAT Xoran (Technologies Inc 3.1.62; Ann Arbor, MI) para evaluar los criterios de inclusión y exclusión.

2.6. Análisis morfométrico

La evaluación de imágenes CBCT fue realizada con la misma técnica descrita en el estudio 1. Solo se tomó en consideración el volumen de la cavidad pulpar (Figura 2).

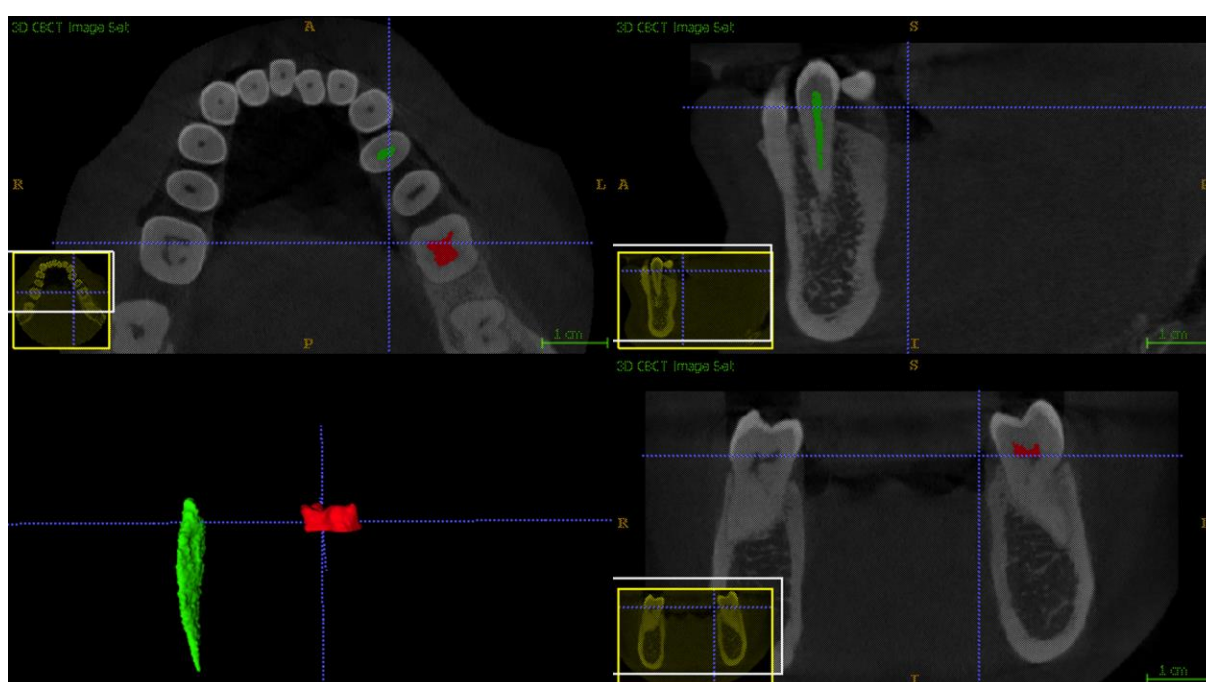


Figura 2. Segmento de imagen final de cavidad pulpar en seis tipos de dientes

2.7. Calibración

Un mismo examinador llevó a cabo toda la evaluación. Se analizó la reproducibilidad intra-observador en una muestra aleatoria de 7 CBCT, reexaminadas en un intervalo de 2 semanas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo la comparación inter-observadores. Las exploraciones utilizadas en este estudio no se incluyeron en la investigación principal.

3. Estudio 3

Estimación de la edad en una muestra peruana basada en el volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y primeros premolares mediante CBCT

3.1. Recolección de muestra

Se analizaron 210 imágenes CBCT de pacientes. Las imágenes fueron derivadas de una base de datos de 2016 y 2017 de datos del Departamento de Radiología Dental de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco – Perú. Con fines de estudio, se registró la fecha de nacimiento y el sexo de todos los sujetos.

3.2. Muestra

Se seleccionaron 55 CBCT, de los cuales 19 varones y 36 mujeres, de pacientes entre 12 y 70 años. Los dientes evaluados fueron 165, distribuidos proporcionalmente entre caninos maxilares, caninos mandibulares y primeros premolares mandibulares.

3.3. Criterios de selección

Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 12 años.
- Con al menos tres dientes anteriores (caninos y primeros premolares).
- Con dientes con desarrollo completo y ápices cerrados.
- Con dientes sin caries, ni restauraciones, ni lesiones periapicales, ni reabsorción radicular, ni calcificación pulpar, ni endodoncia, ni tratamientos.

Criterios de exclusión

- CBCT de baja calidad que no permitieran la visualización de cavidad pulpar.
- Dientes sin anatomía dental normal.
- Primeros premolares superiores, debido al complejo sistema de raíces.

3.4. Distribución de la muestra

Se presentada a continuación la distribución de la muestra.

Tabla 1. Distribución por edad y sexo por tipo de diente del estudio 3

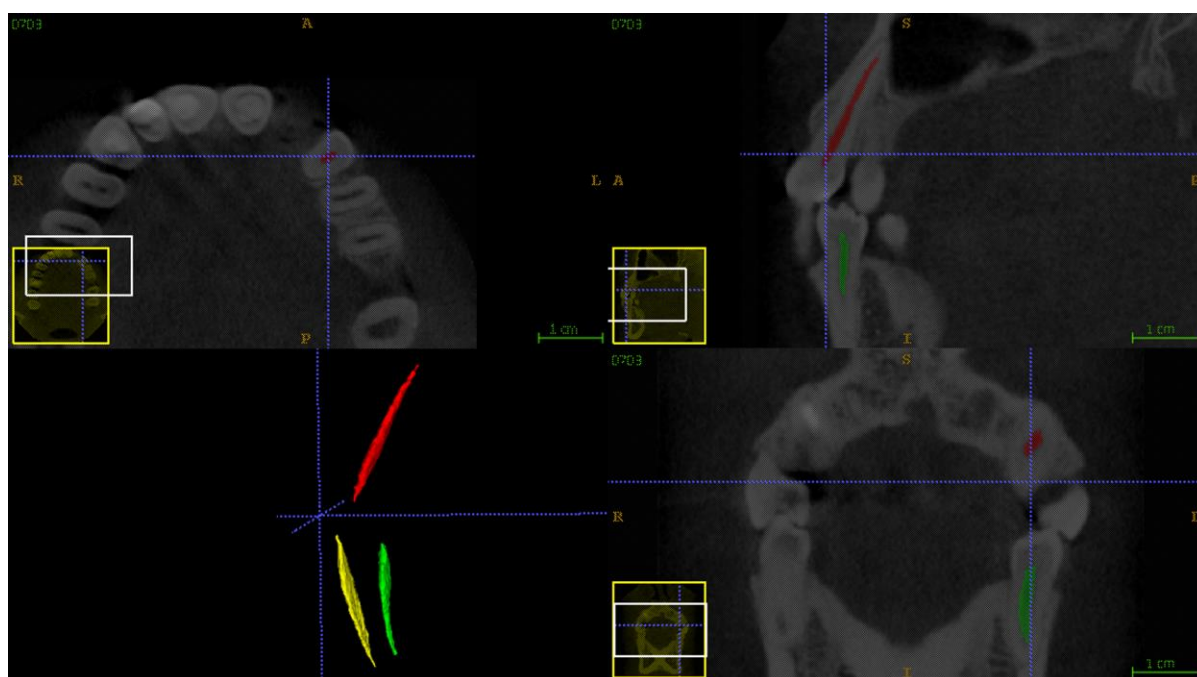
Grupo de edad (años)	Sexo		Tipo de diente		
	Varón	Mujer	U3	L3	U4
12-20	4	11	15	15	15
21-30	6	9	15	15	15
31-40	5	5	10	10	10
41-50	2	2	4	4	4
51-60	1	3	4	4	4
61-70	1	6	7	7	7
Total	19	36	55	55	55
<i>U maxilar, L mandibular, 3 canino, 4 primer premolar</i>					

3.5. Procesamiento de CBCT

Las imágenes fueron obtenidas con un dispositivo CBCT Gendex CB500 (Gendex Dental Systems, Des Plaines, IL). Las CBCT fueron tomadas a 120 kVp, 9 mA, vóxel 0.125-0.4 mm, resolución 1.22 x 1.17 m, tiempo de exposición 23 s y campo de visión 8 x 8 cm a 8 x 14 cm. Las CBCT fueron analizadas previamente en el software i-CAT Xoran (Technologies Inc 3.1.62; Ann Arbor, MI) para evaluar los criterios de inclusión y exclusión.

3.6. Análisis morfométrico

El volumen pulpar fue calculado con la misma técnica descrita en el estudio 3 (Figura 3).

**Figura 3. Segmento de imagen final de cavidad pulpar en tres tipos de dientes**

3.7. Calibración

Un mismo examinador llevó a cabo toda la evaluación. Se analizó la reproducibilidad intra-observador en una muestra aleatoria de 5 CBCT, reexaminadas en un intervalo de 2 semanas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo la comparación inter-observadores. Las exploraciones utilizadas en este estudio no se incluyeron en la investigación principal.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando el software SPSS 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA.). Un $p < .05$ se consideró estadísticamente significativo para toda la evaluación. Se calcularon las medias y desviaciones estándar (SD) para el volumen de cavidad/cámara de pulpa dental. El coeficiente de correlación intraclase se utilizó para determinar la significación estadística de la variabilidad interobservador e intraobservador. En todos los estudios, la reproducibilidades intraobservadores e interobservadores fueron mayores de 0.9.

Después la verificación de los supuestos de normalidad, se realizó la prueba T de muestra independiente para explorar si hay diferencias del volumen pulpar según sexo. Luego, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la fuerza de la relación entre el volumen de la cavidad pulpar y las edades cronológicas.

Para todos los estudios se realizó análisis de regresión para establecer la fórmula de estimación de la edad humana mediante el volumen de pulpa (variable predictiva) y se usó el coeficiente de determinación (R^2) para determinar la precisión de los modelos matemáticos.

En el estudio 1, se usó el modelo de regresión logarítmica y el error estándar estimado (EER) entre las edades real y estimada para evaluar la precisión del modelo de regresión. En el estudio 2 se usó el modelo de regresión lineal múltiple y en el estudio 3 se usó el modelo de regresión logarítmica múltiple, ambos por método backward (eliminación hacia atrás) de acuerdo con las variables predictivas más significativas del volumen de pulpa dental. Para determinar las variables más significativas, solo aquellas con un valor de $p < 0.1$ (estudio 2) y $p < 0.05$ (estudio 3) no fueron eliminadas en el modelo final. El error estándar residual (RSE) se utilizó en ambos estudios para determinar la precisión de los modelos matemáticos.

VII. RESULTADOS

Estudio 1. *Estimación de la edad humana en una muestra española basado en la medición del volumen de la cavidad/cámara pulpar en dientes premolares y molares visualizados con CBCT*

1. Volumen según sexo

Los valores medios y SD del volumen de cavidad/cámara de la pulpa dental para los varones y las mujeres en los diferentes tipos de dientes se muestran en la Tabla 4. Con excepción de los segundos molares mandibulares ($p=.037$), la diferencia de volumen de pulpa dental según sexo no fue estadísticamente significativa para los otros seis tipos de dientes evaluados ($p>.05$).

Tabla 4. Media y desviación estándar (SD) del volumen de la cavidad/cámara pulpar en mm³ según sexo

Tipo de diente	N	Media	SD	Mínimo	Máximo
U5	33	20.652	6.498	11.680	37.160
U6	38	26.016	9.722	10.270	42.030
U7	33	25.992	6.529	14.300	37.990
L4	32	16.624	4.407	8.380	25.220
L5	30	20.437	8.261	5.910	42.570
L6	41	22.303	7.568	11.820	44.260
L7	36	22.382*	7.818	10.220	37.550

U maxilar, L mandibular, 4 primer premolar, 5 segundo premolar, 6 primer molar, 7 segundo molar
 (*) Indica diferencias significativas del volumen de cavidad/cámara de pulpa dental según sexo
 (Prueba de T-student independiente; $p<.05$).

2. Estimación de edad

Se desarrolló un modelo de regresión de la estimación de la edad que muestra los coeficientes de regresión de la cavidad/cámara de la pulpa en los varones, las mujeres y el total de muestra (Tabla 5). Todas las regresiones fueron estadísticamente significativas ($p<.001$). En los varones, el volumen de pulpa de los primeros molares maxilares y los primeros premolares mandibulares pudieron explicar el 89.7% y el 73.4% de la variación de edad, respectivamente. Mientras que en las mujeres, el volumen de pulpa de los primeros molares mandibulares y los primeros premolares explicaron el 74% y el 73% de la variación de la edad, respectivamente.

Tabla 5. Fórmulas de regresión logarítmica de la estimación de edad y R^2 por cada tipo de diente en los varones, las mujeres y el total de la muestra

Tipo de diente	Fórmulas de regresión	R^2		
		Total	Varones	Mujeres
U5	$Y = 151.004 - 37.088 \cdot \ln(X)$	.477	.454	.490
U6	$Y = 143.734 - 32.739 \cdot \ln(X)$	.621	.897	.516
U7	$Y = 143.613 - 33.185 \cdot \ln(X)$	.370	.287	.476
L4	$Y = 160.492 - 41.982 \cdot \ln(X)$	.722	.734	.730
L5	$Y = 93.805 - 17.556 \cdot \ln(X)$	.292	.266	.373
L6	$Y = 164.229 - 40.704 \cdot \ln(X)$	.647	.509	.740
L7	$Y = 118.520 - 25.178 \cdot \ln(X)$	.322	.444	.331

U maxilar, L mandibular, 4 primer premolar, 5 segundo premolar, 6 primer molar, 7 segundo molar

3. Curvas de regresión

El diagrama de dispersión de las Figuras 4-6 muestran la relación inversa entre la edad y el volumen de pulpa de los dientes que obtuvieron la mayor correlación individual ($R^2 > 0.6$). Los volúmenes de cavidad/cámara pulpar de los primeros molares maxilares, los primeros premolares mandibulares y los primeros molares mandibulares de toda la muestra se representaron con un comportamiento logarítmico ($p < .001$).

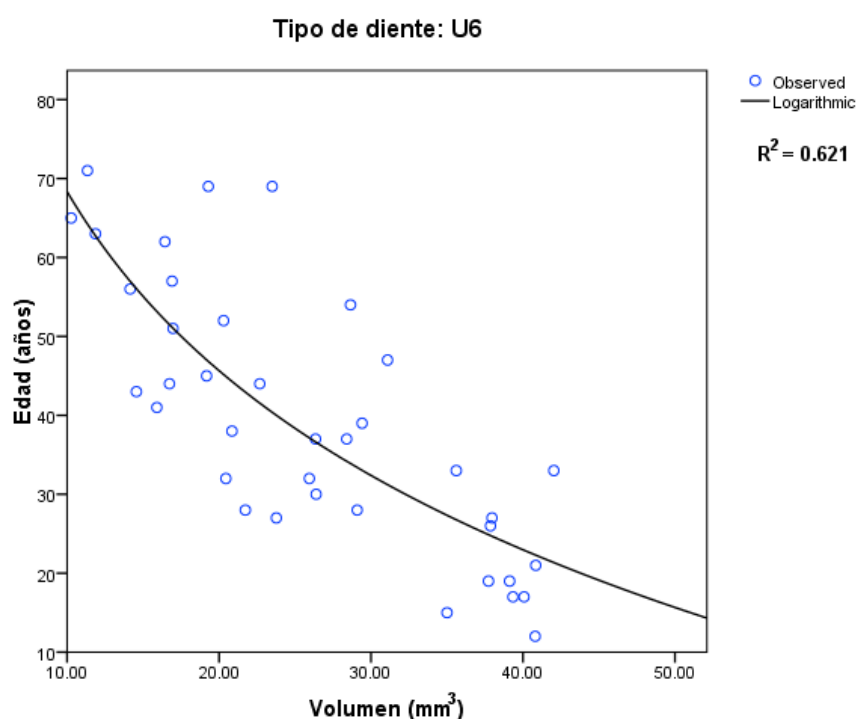


Figura 4. Diagrama de dispersión de la relación entre la edad y el volumen pulpar de los primeros molares maxilares

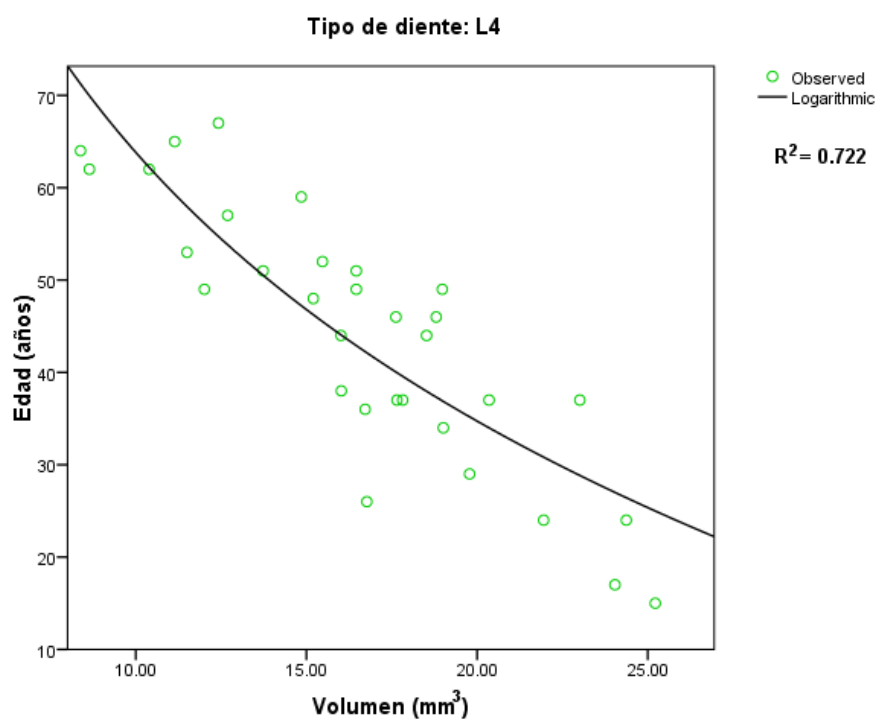


Figura 5. Diagrama de dispersión de la relación entre la edad y el volumen pulpar de los primeros premolares mandibulares

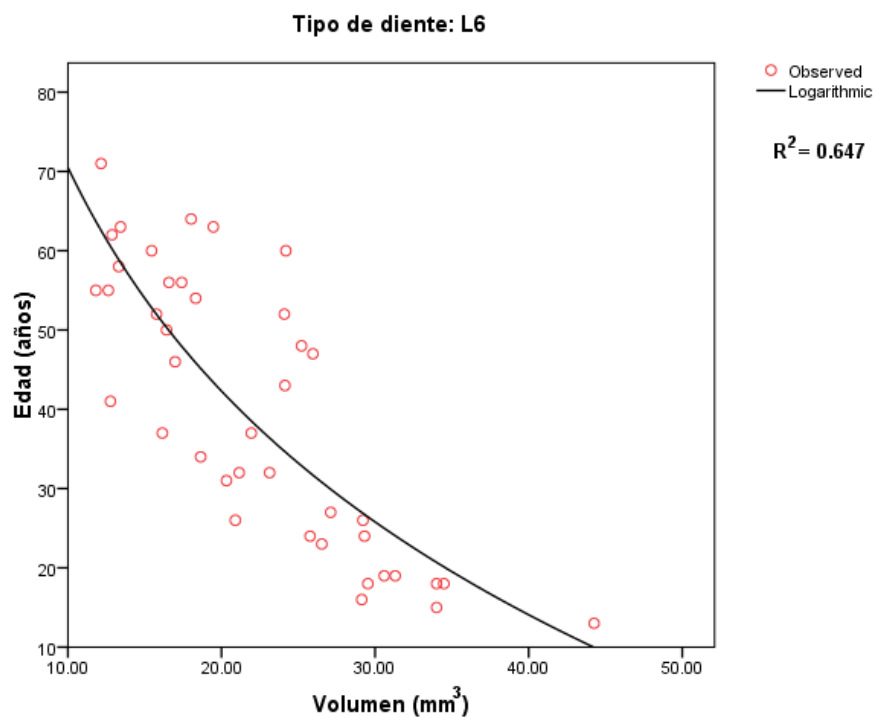


Figura 6. Diagrama de dispersión de la relación entre la edad y el volumen pulpar de los primeros molares mandibulares

4. Predicción por edad

En la Tabla 6 se observa que los errores estándares residuales (RSE) de los grupos de edad entre 12 y 30 años se mostraron más bajos con las fórmulas de estimación de edad de los primeros molares mandibulares (5.5 - 6.2 años), seguido de los primeros molares maxilares (6.3 - 7.7 años). Los grupos de edad mayores de 31 mostraron los valores de RSE más bajos con la fórmula de los primeros premolares mandibulares (4.5 - 6.7).

Tabla 6. Error estándar residual de la predicción de edad según tipo de diente y grupos de edad

Grupos de edad (años)	RSE						
	U5	U6	U7	L4	L5	L6	L7
12-20	4.784	7.605	11.813	9.994	14.452	5.501	14.994
21-30	12.673	6.393	9.227	7.888	13.872	6.131	11.628
31-40	7.955	6.427	5.266	4.549	5.557	8.286	7.988
41-50	4.429	8.825	5.393	5.977	4.829	10.270	6.712
51-60	13.183	6.762	11.140	5.831	8.186	8.781	15.578
61-71	10.838	11.703	20.237	6.681	18.582	10.359	11.274
Total	9.318	7.863	9.175	6.237	9.170	8.091	11.285

U maxilar, L mandibular, 4 primer premolar, 5 segundo premolar, 6 primer molar, 7 segundo molar

Estudio 2. *Estimación de la edad humana en una muestra brasileña basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes anteriores mediante la utilización de CBCT.*

1. Volumen según sexo

En la Tabla 7 se observa que hubo diferencias significativas entre sexos del volumen pulpar para los incisivos laterales y caninos maxilares, y caninos mandibulares ($p < .05$).

Tabla 7. Media y SD del volumen de la cavidad pulpar en mm³ según sexo

Tipo de diente	N	Media	SD	Mínimo	Máximo
U1	70	18.136	7.203	5.510	32.520
U2	70	13.591*	5.993	3.620	27.700
U3	70	28.684*	9.482	12.840	55.550
L1	70	6.877	2.525	2.390	12.750
L2	70	9.816	3.466	2.970	19.090
L3	70	26.049*	8.310	9.860	45.450

U maxilar, L mandibular, 1 incisivo central, 2 incisivo lateral, 3 canino

() Indica diferencias significativas del volumen de cavidad de pulpa dental según sexo (Prueba de T-student independiente; $p < .05$).*

2. Correlación edad - volumen

En la Tabla 8 se muestran los R^2 y el error estándar estimado (SEE) de la estimación de la edad según el volumen pulpar por cada tipo de diente donde todos los análisis de regresión fueron estadísticamente significativos ($p < .001$). La edad de los varones estuvo mayor correlacionada con el volumen pulpar de los caninos, y los incisivos centrales y laterales maxilares; mientras que la edad de las mujeres se correlacionó más con el volumen pulpar de los incisivos centrales mandibulares y los incisivos laterales maxilares.

Tabla 8. El R^2 y el SEE de la regresión lineal por tipo de diente en los varones, las mujeres y el total de la muestra

Tipo de diente	Total		Varones		Mujeres	
	R^2	SEE	R^2	SEE	R^2	SEE
U1	0.422	12.248	.456	12.774	.405	11.943
U2	0.419	12.288	.466	12.658	.511	10.830
U3	0.379	12.695	.479	12.504	.448	11.502
L1	0.488	11.530	.392	13.502	.605	9.728
L2	0.297	13.509	.451	12.835	.173	14.082
L3	0.275	13.725	.358	13.872	.289	13.060

U maxilar, L mandibular, 1 incisivo central, 2 incisivo lateral, 3 canino

3. Estimación de edad

El análisis de regresión lineal múltiple por tipo de dientes se muestra en la Tabla 9. Según los criterios para optimizar las ecuaciones matemáticas, el modelo en los varones consideró la combinación de caninos maxilares, incisivos centrales maxilares e incisivos centrales mandibulares; mientras el modelo en las mujeres consideró la combinación de incisivos laterales superiores e incisivos centrales mandibulares. Los R^2 fueron superiores a 0.61 en el total de muestras y sub-muestras por sexo.

Tabla 9. Modelo de regresión lineal múltiple por tipo de dientes remanentes en los varones, las mujeres y el total de la muestra

	Fórmulas de regresión	R^2	SEE
Varones	$Y = 94.562 - 0.399(U3) - 1.016(U1) - 1.867(L2)$	.738	9.166
Mujeres	$Y = 82.003 - 1.189(U2) - 3.547(L1)$	.661	9.140
Total	$Y = 84.420 - 0.399(U3) - 0.561(U1) - 2.787(L1)$	.617	10.120

U maxilar, L mandibular, 1 incisivo central, 2 incisivo lateral, 3 canino

4. Líneas de regresión - predicción

El modelo de regresión lineal múltiple de la muestra total se ilustra en los gráficos de dispersión de la figuras 7 y 8. Se observó un comportamiento lineal de la relación de la edad actual con el volumen pulpar (Figura 7) y con la predicción de la edad (Figura 8) en base a caninos maxilares, incisivos centrales maxilares e incisivos centrales mandibulares.

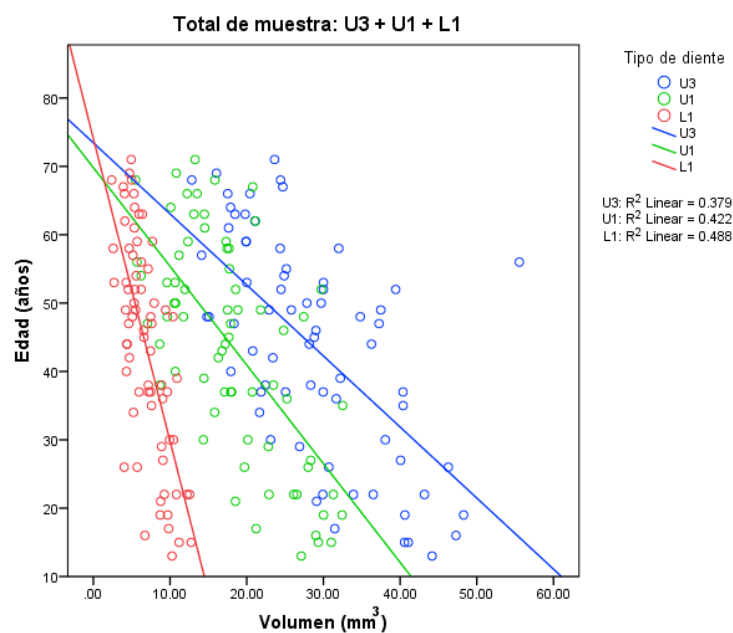


Figura 7. Diagrama de dispersión de la relación entre la edad y el volumen pulpar de los tipos de dientes del modelo de regresión en la muestra total

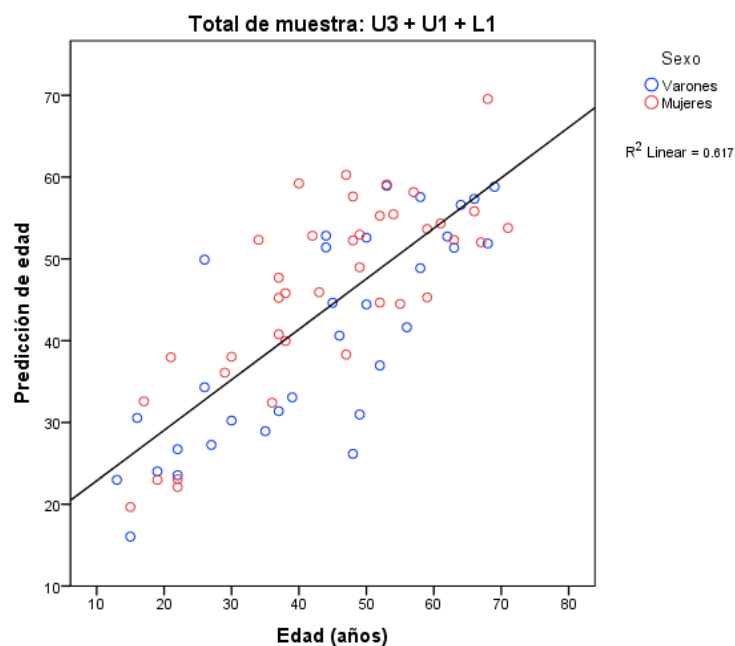


Figura 8. Regresión de la predicción de edad versus edad actual en la muestra total

Como se muestra en las Figuras 9 y 10, la predicción de edad versus la edad real del diagrama de regresión ilustró que los puntos estaban correlacionados alrededor de la línea $y = x$ en los varones y las mujeres, respectivamente.

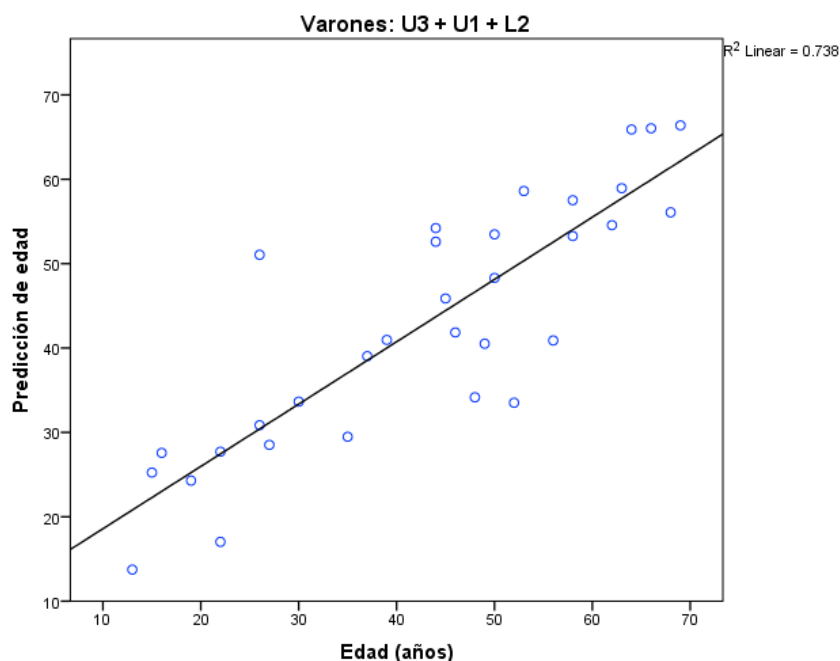


Figura 9. Regresión de la predicción de edad versus edad actual de los caninos e incisivos centrales maxilares y los incisivos laterales mandibulares en los varones

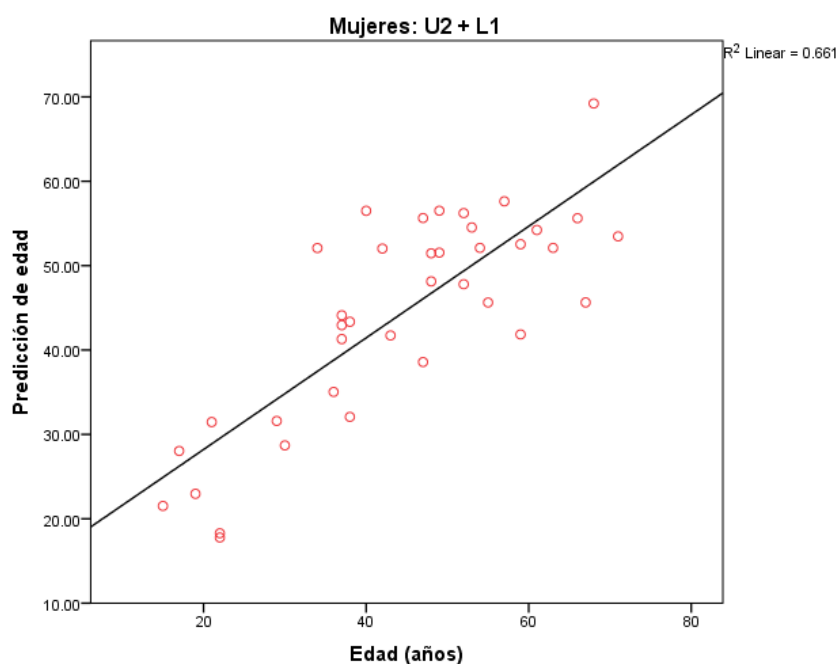


Figura 10. Regresión de la predicción de edad versus edad actual de los incisivos laterales maxilares y los incisivos centrales mandibulares en las mujeres

Estudio 3. Estimación de la edad en una muestra peruana basada en el volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y primeros premolares mediante CBCT

1. Volumen según sexo

En la Tabla 10, se muestra que la diferencia de volumen de pulpa dental según el sexo fue estadísticamente significativa para los caninos maxilares y caninos mandibulares ($p<.05$). Mientras el volumen de pulpa del primer premolar se mantuvo similar entre ambos sexos ($p>.05$).

Tabla 10. Media y SD del volumen de la cavidad pulpar en mm³ según sexo

Tipo de diente	N	Media	SD	Mínimo	Máximo
U3	55	31.92*	8.54	17.66	50.55
L3	55	28.51*	7.31	12.16	42.98
L4	55	23.33	6.20	9.35	37.09

U maxilar, L mandibular, 3 canino, 4 primer premolar

(*) Indica diferencias significativas del volumen de cavidad de pulpa dental según sexo (Prueba de T-student independiente; $p<.05$).

2. Correlación edad - volumen

Toda la regresión fue estadísticamente significativa ($p<.01$) como se observa en la Tabla 11. En todas las muestras, se observó una mayor correlación entre la edad y el volumen de la cavidad de pulpa dental del primer premolar mandibular ($R^2=0.457$) seguido de los caninos maxilares ($R^2=0.446$).

Tabla 11. El R² y el SEE de la regresión logarítmica por tipo de diente en los varones, las mujeres y el total de la muestra

Tipo de diente	Total		Varones		Mujeres	
	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	SEE
U3	.446	12.928	.367	11.278	.489	13.921
L3	.384	13.634	.443	10.582	.392	14.960
L4	.457	12.860	.458	10.430	.483	13.788

U maxilar, L mandibular, 3 canino, 4 primer premolar

El diagrama de dispersión de la Figura 11 muestra la correlación inversa entre la edad y el volumen de pulpa dental.

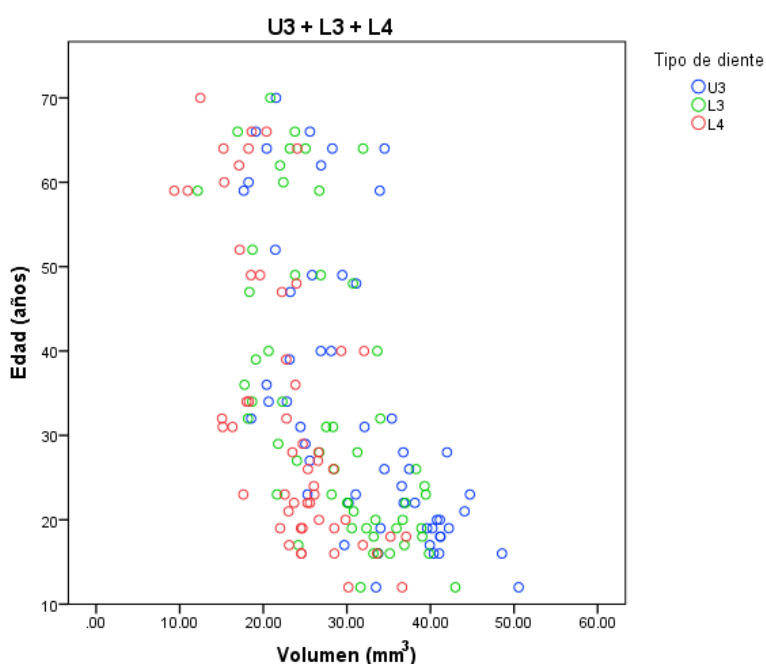


Figura 11. Diagrama de dispersión de la relación entre la edad y el volumen pulpar

3. Estimación de edad

El análisis de regresión logarítmica múltiple por tipo de diente se muestra en la Tabla 12. Según los criterios para optimizar las ecuaciones matemáticas, tanto en los varones, las mujeres y en el total de la muestra, se consideró la combinación de caninos maxilares y primeros premolares mandibulares. Los R^2 fueron superiores a 0.55 en el total de muestras y sub-muestras por sexo.

Tabla 12. Modelo de regresión logarítmica múltiple por tipo de diente remanentes en los varones, las mujeres y el total de la muestra

	Fórmulas de regresión	R^2	SEE
Varones	$Y = 193.009 - 25.509 \cdot \ln(U3) - 22.658 \cdot \ln(L4)$	.601	9.213
Mujeres	$Y = 203.719 - 26.065 \cdot \ln(U3) - 26.271 \cdot \ln(L4)$	.552	13.036
Total	$Y = 197.670 - 24.938 \cdot \ln(U3) - 25.286 \cdot \ln(L4)$	.559	11.650
<i>U maxilar, L mandibular, 3 canino, 4 primer premolar</i>			

4. Líneas de predicción

En la Figura 12 se ilustra la predicción de edad versus la edad real del diagrama de regresión donde los puntos presentaban un comportamiento lineal con un R^2 mayor de 0.55.

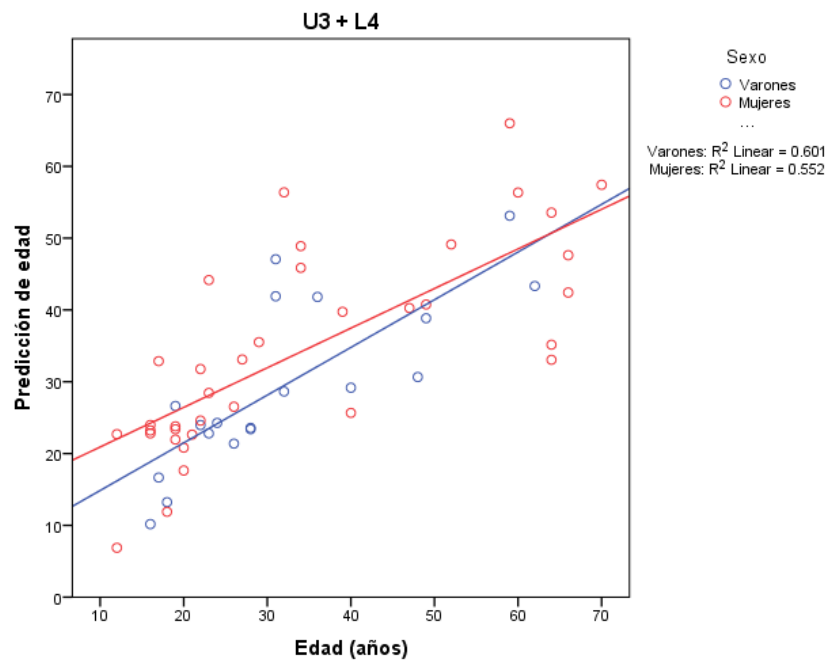


Figura 12. Regresión de la predicción de edad versus edad actual según sexo

VIII. DISCUSIÓN

La presente investigación evaluó la relación entre la edad humana y el volumen de la cavidad y/o conducto de la pulpa dental mediante imágenes CBCT de muestras de España, Brasil y Perú. Para ello, se desarrollaron tres estudios de manera sucesiva.

La estimación de la edad en personan vivas es un gran desafío para las ciencias forenses, especialmente, porque se requiere hacer uso de métodos no invasivos. Al respecto, existen técnicas tradicionales para predecir la edad humana según análisis del tejido óseo de partes del cuerpo como la mano y la clavícula. Sin embargo, se había comentado que la edad ósea estaría más influenciada por factores externos como la nutrición y estados endocrinos que en comparación a la evaluación dentaria. El diente se presenta resistente a múltiples cambios a través del tiempo teniendo como métodos de evaluación más frecuentes la erupción y la maduración dental. No obstante, estas evaluaciones tienen como límites edades donde la maduración no se ha completado (De Luca et al., 2010; Vodanović et al., 2011).

Los estudios tienen como base científica el desarrollo del diente, específicamente, la pulpa dental para estimar la edad. A medida que pasan los años, se produce un incremento de la aposición de la dentina secundaria sobre el extremo pulpar de dentina primaria, provocando una disminución del volumen de la cámara de la pulpa dental y un estrechamiento del conducto radicular (Ge et al., 2015). Gracias al desarrollo de la tecnología de rayos X, las características de la pulpa dental se pueden obtener, por lo que este método, a diferencias de otras, resultaría mínimamente invasivo, no requiriendo la extracción del diente y permitiendo un análisis en individuos vivos (Vandevoort et al., 2004).

Las medidas indirectas de la pulpa dental, cavidad y/o cámara, pueden ser calculadas con radiografías convencionales y con mayor precisión, con tomografías. Las radiografías convencionales, incluidas las panorámicas y las tipo digitales, se han utilizado ampliamente para mediciones de la cavidad de la pulpa dental y de los tejidos duros del diente (Murray et al., 2002). Existen estudios científicos sobre la estimación de la edad, basados en correlacionar la edad con la longitud (alto y ancho) de la cavidad pulpar y/o lel radio del área de pulpa dental/diente obtenidas con imágenes radiográficas analógicas o digitales. Estos análisis radiográficos se extraen de la evaluación de imágenes bidimensionales calculadas en posiciones verticales, horizontales o paralelas al diente (Bassed et al., 2011).

Respecto a las imágenes bidimensionales, la literatura señala que las relaciones o proporciones calculadas de mediciones lineales, no podrían representar la totalidad de los cambios morfológicos tridimensionales en los dientes (Maret et al., 2011). En ese sentido, han aparecido nuevas propuestas para la estimación de la edad humana mediante el volumen de pulpa dental calculados con software que analizan tomografías computarizadas.

Las tomografías CBCT son un tipo de imagen que utiliza un detector de rayos X en 2D y un haz de rayos X en forma de cono o pirámide para reconstruir imágenes 3D isotrópicas de alta resolución espacial (Baba et al., 2002). El uso regular de CBCT en el campo de la odontología viene siendo de utilidad para el diagnóstico y tratamiento. Su aplicación para el cálculo del volumen de la pulpa dental, aumentaría la precisión de las mediciones, y consecuentemente, la valoración para la estimación de la edad en los individuos vivos.

CBCT tiene un fácil acceso y manejo. Además, con solo una toma, brinda información de un conjunto de datos de reconstrucción en varios planos y en tres dimensiones (De Vos et al., 2009). Asimismo, ciertas características de CBCT resultan superiores comparadas a la microtomografía computarizada y tomografía computarizada. Proporcionan grandes áreas de imagen aplicables a la boca del paciente (*in vivo*). Mientras que las microtomografías tiene un área de imagen delimitada que se realiza en un diente extraído (*ex vivo*), además requiere una alta dosis de radiación para poder brindar una imagen de alta resolución (Rodt et al., 2011). En cuanto a la tomografía convencional, se pueden aplicar con fines dentales en personas vivas, aunque su uso involucra un coste y dosis de radiación relativamente alto en comparación a CBCT (Ludlow & Ivanovic, 2008; Qu et al., 2011).

Lo mencionado anteriormente, apoyó la hipótesis sobre la existencia de una relación entre la edad humana y el volumen del conducto y/o cámara de la pulpa dental evaluados mediante CBCT. Esto fue un hallazgo por los resultados (la hipótesis nula fue rechazada). La edad humana estuvo correlacionada de forma inversa al volumen de cavidad y/o cámara pulpar de dientes posteriores como se muestra en el estudio 1 realizado en una muestra española. Asimismo, el análisis de múltiples tipos de dientes anteriores mejoró la precisión de la estimación de la edad en comparación a un solo tipo de diente utilizado como se muestra en el estudio 2 realizado en una muestra brasileña. Finalmente, el volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y premolares se presentaron útiles para estimar la edad humana como se muestra en el estudio 3 realizado en una muestra peruana.

En la siguiente investigación, luego de analizar diferentes tipos de dientes en diferentes poblaciones y grupos de edad, obtuvimos resultados relevantes cuya discusión de las limitaciones, similitudes o diferencias se verán a continuación:

Estimación de la edad humana en una muestra española basado en la medición del volumen de la cavidad/cámara pulpar en dientes premolares y molares visualizados con CBCT (Estudio 1).

La primera parte de la tesis analizó la correlación de la edad humana y la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes posteriores mediante la utilización de CBCT en una muestra de España.

Las unidades de análisis de éste estudio fueron las cavidades de pulpa dental de premolares y cámaras pulpares de molares. Los análisis intraobservador e interobservador fueron de 0.99 y 0.97, respectivamente. Esto significó que hubo un muy buen acuerdo o concordancia, es decir, una alta coincidencia al momento de evaluar el volumen de la cámara/conducto pulpar entre los observadores en relación al total de 12 CBCT de dientes los examinados.

Respecto a los resultados sobre la diferencia de volumen entre sexo, no fue estadísticamente significativa para las primeras molares, esto quiere decir que el volumen de la cámara pulpar no estuvo relacionado al sexo en la muestra española. Siendo el sexo no estadísticamente diferente para la predicción de la estimación de la edad, se decidió realizar un análisis de regresión logarítmica única para toda la muestra.

Otros estudios si encontraron diferencias del sexo para estimar la edad. Dos investigaciones independientes realizadas por un mismo autor (Ge et al., 2015, 2016), mostraron diferencias significativas entre varones y mujeres, por lo que concluyeron sus resultados con fórmulas predictoras independientes para estimar la edad basado en el volumen de primeras molares maxilares y mandibulares (Ge et al., 2015: n = 403) y de los trece tipos de dientes que incluían las segundas premolares, las primeras molares y las segundas molares maxilares y mandibulares (Ge et al., 2016: n = 240) en una muestra de China. Es preciso mencionar que la metodología de medición del volumen de la cámara y/o cavidad de la pulpa dental con CBCT realizado en este estudio coincidió con las investigaciones realizadas por Ge et al. (2015, 2016), además de utilizar el mismo programa informático (ITK-SNAP) y de calcular modelos de regresión para estimar la edad humana.

Los resultados de los coeficientes de determinación hallados en este estudio mostraron valores superiores en los grupos dentarios de primeras premolares mandibulares tanto en varones como mujeres ($R^2=0.722$). Mientras los varones presentaron mayores R^2 en los primeros molares maxilares ($R^2=0.897$) y mujeres, en los primeros molares mandibulares ($R^2=0.740$). En general, los R^2 del total de primeros molares oscilaron entre 0.516 a 0.897.

Los datos mencionados antes representaron un modelo logarítmico que en el caso de los primeros premolares, los primeros molares mandibulares y maxilares brindaron una buena representación de la muestra ($>62\%$) con respecto a la fórmula de la explicación de la edad estimada. No obstante de los resultados mencionados antes, los demás tipos de dientes mostraron coeficientes R^2 relativamente bajos con los segundos premolares maxilares (0.477) y bajos con los segundos premolares mandibulares y los segundos molares maxilares, 0.292 y 0.322, respectivamente.

Según la investigación de Ge et al. (2015), encontró coeficientes de determinación inferiores a los hallados en este estudio con respecto a los primeros molares maxilares y mandibulares en el total de la muestra (R^2 entre 0.544 a 0.684), a los primeros molares maxilares en los varones ($R^2=0.544$) y primeros molares mandibulares en las mujeres ($R^2=0.612$). No obstante de estas diferencias, hemos coincidido en que los volúmenes de los primeros molares respecto a la edad tienen un comportamiento logarítmico y son dientes que podrían explicar las fórmulas de estimación de edad en la muestra de España y China.

Los resultados de R^2 del estudio de Ge et al. (2016) comparados a este estudio respecto a dientes posteriores, fueron inferiores en los primeros molares maxilares y mandibulares (R^2 de 0.457 a 0.554), los primeros premolares mandibulares (R^2 de 0.351 a 0.413) y los segundos premolares maxilares (R^2 de 0.323 a 0.386), y fueron superiores respecto a los segundos molares maxilares y mandibulares (R^2 de 0.458 a 0.642) y los segundos premolares mandibulares (R^2 de 0.393 a 0.404).

El estudio de Ge et al. (2016) realizó fórmulas de regresión lineal múltiples y, al igual que este estudio, señaló al primer premolar mandibular y primer molar maxilar como algunos de los dientes que explicaban la fórmula matemática en los varones y en el total de la muestra, respectivamente. Asimismo, las correlaciones entre la edad humana y el volumen de la cavidad y/o pulpa dental fueron negativas en ambos estudios.

Existen otros estudios cuyo análisis de estimación de edad se basó en el ratio del volumen de pulpa dental/diente. Hemos coincidido Sakuma et al. (2013), quién halló una relación entre la edad y los radios de la pulpa dental de los primeros premolares mandibulares en los varones vistos en 136 tomografías computarizadas de una muestra de Japón ($R^2=0.596$). No obstante, hemos diferido con Star et al. (2011), quien evaluó 64 CBCT de una muestra de Bélgica y no halló una relación entre la edad y los radios de la pulpa dental de los primeros premolares mandibulares ($R^2=0.23$). Asimismo, el estudio de Gulsahi et al. (2018), no encontró a este grupo de dientes como predictores de la edad en 204 CBCT de una muestra de Turquía ($R^2=0.153$). Y finalmente con el estudio de Nemsy et al. (2018), quien encontró a los segundos premolares mandibulares como predictores de la edad en 12 CBCT en una muestra de Túnez ($R^2=0.70$).

Sobre la metodología de este estudio se observa que las mediciones del volumen de pulpa dental, como el realizado en este estudio, estaría solo relacionada a la formación de dentina secundaria y la edad ratio pulpa/diente. Mientras la literatura señala el volumen de los tejidos duros podría tener influencias externas como el desgaste dentario, que crearía variaciones en sus mediciones, por lo tanto, no reflejaría un cambio real de la aposición secundaria de la dentina (Sameda et al., 2009; Ge et al., 2016; Bjork & Kvaal, 2018).

En la presente investigación se aplicaron fórmulas de regresión logarítmica para toda la muestra y para cada tipo de diente. Si bien es cierto, las primeras premolares inferiores obtuvieron un buen resultado para la estimación de la edad, sus errores residuales fueron menos altos en grupos de edades de 31 a 71 años (entre 4.5 a 6.2 años) y más altos en grupos de edades de 12 a 30 años de edad (entre 7.8 a 9.9 años). Los grupos de edades entre 12 a 30 años presentaron errores residuales más bajos en comparación a otras edades en las primeras molares mandibulares y maxilares, de 5.5 a 6.2 años y de 6.3 a 7.7 años, respectivamente.

Respecto a los resultados de errores residuales calculados de la predicción de la edad, solo Ge et al. (2015) mostró estas variables. Respecto al primer molar mandibular, su estudio encontró errores más bajo en los grupos de las mujeres de 21 a 50 años (de 4.8 a 6 años). Asimismo, en los grupos de los varones de 12 a 50 años respecto al primer molar maxilar (de 5 a 7.4). Los valores de errores fueron similar al de este estudio, no obstante difirieron en parte a los grupos edad señalados.

En resumen, a pesar de las limitaciones de este primer estudio, se encontró que existió una relación inversa entre la edad y el volumen de la pulpa dental. La diferencia del volumen de la pulpa dental según sexo no fue estadísticamente significativa para los seis tipos de dientes evaluados, con excepción de los segundos molares mandibulares. Todos los análisis de regresión para la estimación de la edad según el volumen de la pulpa dental para cada tipo de diente fueron estadísticamente significativos. Los modelos de regresión logarítmica fueron más representativas para los primeros premolares mandibulares, y los primeros molares maxilares y mandibulares. Finalmente, los errores residuales de los grupos de edades mayores de 31 años mostraron los valores más bajos con la fórmula de estimación de edad de los primeros premolares mandibulares (4.5 - 6.7). Mientras los errores de los grupos entre 12 y 30 años de edad se mostraron más bajos con las fórmulas de estimación de edad de los primeros molares mandibulares (5.5 - 6.2 años) y los primeros molares maxilares (6.3 - 7.7 años).

Estimación de la edad humana en una muestra brasileña basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar en dientes anteriores mediante la utilización de CBCT (Estudio 2).

La segunda parte de la tesis comparó la precisión de la estimación de la edad humana mediante el análisis volumétrico CBCT de seis dientes anteriores en forma individual o grupal en una muestra brasileña

Las unidades de análisis de éste estudio fueron las cavidades de la pulpa dental de los incisivos centrales, incisivos laterales y caninos, maxilares y mandibulares. Los análisis intraobservador e interobservador realizados en 7 CBCT para todos los dientes anteriores del estudio mostraron coeficientes de 0.98 y 0.95, respectivamente. Esto significó que hubo un muy buen acuerdo o concordancia.

Respecto a los resultados sobre la diferencia de volumen según sexo, resultaron estadísticamente significativas para algunos tipos de dientes que incluyeron los incisivos laterales maxilares, los caninos maxilares y los caninos mandibulares, esto quiere decir que el volumen de la cámara pulpar estuvo relacionado al sexo en la muestra brasileña. También el sexo fue estadísticamente diferente para la predicción de la estimación de la edad, por lo tanto, se decidió realizar un análisis de regresión lineal múltiple diferenciada por sexo.

Hemos coincidió con la investigación de Ge et al. (2016), quién mostró diferencias significativas entre varones y mujeres, por lo que concluyó sus resultados con fórmulas predictoras independientes para estimar la edad basado en el volumen de trece tipos de dientes que incluían los dientes anteriores (incisivos centrales y laterales, y caninos) en 125 CBCT de varones y 115 CBCT de mujeres de una muestra de China. Como se señaló en el primer estudio, la metodología realizada por el autor fue igual al de este estudio que incluyó el análisis de regresión múltiple en base al volumen de pulpa dental.

También hubo dos estudios que evaluaron los volúmenes de pulpa dental de seis tipos de dientes anteriores al igual que este estudio, aunque sus mediciones se basaron en el ratio la pulpa dental/diente (Star et al., 2011; Biuki et al., 2017). De las diferencias del volumen pulpar según sexo coincidimos con Biuki et al. (2017) quien halló diferencias por sexo y realizó un análisis de regresión posterior separando según sexo en una muestra de Irán en 46 CBCT de varones y 76 CBCT de mujeres. No hemos coincidido con Star et al. (2011) quien no halló diferencias del volumen de la pulpa dental entre 54 CBCT de varones y 57 CBCT de mujeres de una muestra de Bélgica, aunque brindó las fórmulas de estimación de edad en grupos separados.

Existen otros estudios que evaluaron algunos de los dientes anteriores y hallaron diferencias del sexo para estimar la edad al igual que en este estudio. Por ejemplo: Lee et al. (2017) en 109 CBCT de varones y 115 CBCT de mujeres de una muestra de Korea para analizar los ratios de pulpa/diente en los caninos.

También hubieron estudios donde no hubo diferencias por sexo como: Jagannathan et al. (2011) en 140 CBCT de una muestra de India para evaluar los caninos maxilares y mandibulares; De Angelis et al. (2015) en 91 CBCT de una muestra de Italia para analizar los caninos maxilares; Pinchi et al. (2015) en 148 CBCT de una muestra de Italia para analizar los incisivos centrales maxilares; Porto et al. (2015) en 110 CBCT en una muestra de Brasil para evaluar los incisivos centrales maxilares y mandibulares; Asif et al. (2018) en 110 CBCT de una muestra de Malasia para evaluar los incisivos centrales maxilares y mandibulares; Gulsahi et al. (2018) en 204 CBCT de una muestra de Turquía para evaluar los incisivos centrales, incisivos laterales y caninos maxilares; y en la mandíbula, los caninos, primeros premolares y segundos premolares; Nemsy et al. (2018) en 120 CBCT de una muestra de Túnez para evaluar los caninos maxilares y los segundos premolares mandibulares.

Los resultados de los coeficientes de determinación hallados en este estudio mostraron valores superiores en los grupos dentarios de los caninos maxilares, los incisivos centrales mandibulares e incisivos laterales maxilares y mandibulares en la muestra de los varones (R^2 entre 0.451 y 0.479). Mientras que los grupos de los incisivos centrales mandibulares, los incisivos laterales maxilares y los caninos maxilares estuvieron más correlacionados a las mujeres (R^2 entre 0.448 y 0.605). Los volúmenes tuvieron un comportamiento lineal.

No obstante de los resultados mencionados antes, los coeficientes de determinación más bajos se presentaron en los caninos mandibulares y los incisivos centrales mandibulares en la muestra de los varones, 0.358 y 0.477, respectivamente. Mientras en las mujeres se observaron con los incisivos laterales y caninos mandibulares, 0.173 y 0.289, respectivamente. Es importante resaltar por cuestiones metodológicas que la morfología de la cavidad pulpar del incisivo central superior es más amplia que la del incisivo central inferior y esto podría influenciar en una mejor delimitación del conducto pulpar al momento de la evaluación.

Los resultados de R^2 del estudio de Ge et al. (2016) comparados a este estudio en dientes anteriores, fueron inferiores en los seis tipos de dientes evaluados tanto en la muestra de los varones (R^2 de 0.198 a 0.406) como en las mujeres (R^2 de 0.162 a 0.29). Respecto a los estudios basados en el ratio pulpa/diente. Los R^2 del estudio de Star et al. (2011) fueron inferiores al de este estudio en cuanto a los caninos (entre 0.05 a 0.07) en ambos sexos. Asimismo los R^2 de los incisivos fueron inferiores en los varones (0.372) y similares en las mujeres (0.46) en comparación al presente estudio. Para Biuki et al. (2017) los seis tipos de dientes tuvieron R^2 superiores en los varones que en comparación a este estudio. No obstante, los resultados en las mujeres resultaron inferiores y/o similares en la mayoría de grupos de dientes.

Con los datos mencionados antes se presentó un modelo lineal múltiple que en el caso de los la muestra de varones estuvo representada por los caninos maxilares, los incisivos centrales maxilares y los incisivos laterales mandibulares que brindaron una buena representación de la muestra de 74% con respecto a la fórmula de la explicación de la edad estimada. Sin embargo, no se coincidió con las mujeres ya que su fórmula estuvo representada por los incisivos laterales maxilares y los incisivos centrales mandibulares que brindaron una representación de la muestra de 66%.

Es necesario resaltar, que con el análisis múltiple de la estimación de edad explicada por algunos dientes en el presente estudio, se aumentó el nivel de representatividad en la muestra que en comparación a los resultados individuales de los dientes. Por ejemplo en varones se pasó de explicar un 45% con el análisis individual a un 73% con el análisis múltiple, mientras en mujeres se pasó de un 60% a un 66%.

El único estudio que brindó un análisis múltiple fue el de Ge et al. (2016). El autor realizó fórmulas de regresión lineal múltiples y, al igual que este estudio, señaló a los caninos e incisivos centrales maxilares como algunos de los dientes que explicaban la fórmula matemática en varones. Sin embargo, no hemos coincidido en señalar al incisivo lateral maxilar y el incisivo central mandibular como variables explicativas de la fórmula. Biuki et al. (2017) analizó una muestra que presentaba los seis tipos de dientes anteriores a la misma vez, pero brindó fórmulas individuales por tipo de diente. Luego, aunque el estudio de Yang et al. (2006) brindara una fórmula lineal global analizada de los seis tipos de dientes anteriores, su representación no superó el 29%.

Existen otros estudios cuyo análisis de estimación de la edad se basó en el ratio del volumen de pulpa/diente y que brindaron resultados de algunos de los dientes anteriores evaluados en este estudio. Los resultados fueron similares respecto al señalar como predictor de edad a los caninos maxilares según De Angelis et al. ($R^2=0.39$), Biuki et al. ($R^2=0.56$), Lee et al. ($R^2=0.53$) y Nemsy et al. ($R^2=0.7$). Los incisivos centrales maxilares según Asif et al. ($R^2=0.88$), Biuki et al. ($R^2=0.72$), Gulsahi et al. ($R^2=0.28$), Pinchi et al. ($R^2=0.58$), Porto et al. ($R^2=0.21$) y Star et al. ($R^2=0.41$). No obstante, hemos diferido en cuanto a otros dientes como señalar a los caninos mandibulares como predictores de edad según Jagannathan et al. ($R^2=0.40$).

En resumen, a pesar de las limitaciones de este segundo estudio, se encontró que los análisis de múltiples tipos de dientes anteriores mejoró la precisión de la estimación de la edad en comparación con un solo tipo de diente utilizado. Hubo diferencias significativas entre sexos y volumen pulpar para los incisivos laterales y caninos maxilares, y caninos mandibulares. Todos los análisis de regresión para la estimación de la edad según el volumen de la pulpa dental fueron estadísticamente significativos. Los modelos de regresión lineal múltiple consideraron los caninos maxilares, los incisivos centrales maxilares y los incisivos centrales mandibulares en la muestra de varones con un R^2 de 74%, y a los incisivos laterales maxilares e incisivos centrales mandibulares en la muestra de mujeres con un R^2 de 66%.

Estimación de la edad en una muestra peruana basada en el volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y primeros premolares mediante CBCT (Estudio 3).

La segunda parte de la tesis determinó si es posible estimar la edad humana de una muestra peruana mediante un método basado en la medición del volumen de la cavidad pulpar de CBCT tomadas de dientes caninos y premolares.

Las unidades de análisis de éste estudio fueron las cavidades de pulpa dental de los caninos maxilares y mandibulares y los primeros premolares mandibulares. Los análisis intraobservador e interobservador realizados en 5 CBCT para los dientes del estudio mostraron coeficientes de 0.953. Esto significó que hubo un muy buen acuerdo o concordancia para realizar las mediciones.

Respecto a los resultados sobre la diferencia de volumen según sexo, resultaron estadísticamente significativas para los caninos maxilares y mandibulares, esto quiere decir que el volumen de la cámara pulpar estuvo relacionado al sexo en la muestra peruana. También el sexo fue estadísticamente diferente para la predicción de la estimación de la edad, por lo tanto, se decidió realizar un análisis de regresión logarítmica múltiple diferenciada por sexos.

Solo dos estudios han analizado tanto dientes caninos como premolares y fueron de Ge et al. (2016) en una muestra China y de Star et al. (2011) en una muestra de Bélgica. Aunque este último autor no diferenció entre primeros y segundos premolares. Hemos coincidido que hubo diferencias entre las muestras de los varones y las mujeres con el estudio de Ge et al. (2016). El autor evaluó 240 CBCT que incluyeron los dientes de este estudio para evaluar con modelos de regresión logarítmico múltiple la estimación según el volumen pulpar. No halló estas diferencias el estudio de Star et al. (2011) quien evaluó 111 CBCT que incluyeron 32 caninos y 15 premolares para hallar el ratio pulpa/diente en modelos de regresión lineal por cada tipo de diente.

Algunos otros estudios en los que hemos coincidido sobre las diferencias según sexo de algunos de los dientes evaluados en el presente estudio fueron de: Biuki et al. (2017) quien evaluó 122 CBCT que incluyeron los caninos maxilares y mandibulares en una muestra de Irán, Lee et al. (2017) quien evaluó 205 CBCT de caninos maxilares en una muestra de Korea. En ambos estudios utilizaron la evaluación de los radios de volumen de la pulpa/dientes.

Otras investigaciones que no han mostrado diferencias de los volúmenes de pulpa dental entre varones y mujeres según las mediciones de los radios del volumen de la pulpa dental/diente fueron de: Jagannathan et al. (2011) quien evaluó 140 CBCT de caninos mandibulares en una muestra de India; De Angelis et al. (2015) quien evaluó 91 CBCT de caninos maxilares en una muestra de Italia; Gulsahi et al. (2018) quien evaluó 244 CBCT de caninos en una muestra de Turquía; y Nemsy et al. (2018) quien evaluó 120 CBCT de caninos maxilares en una muestra de Túnez.

Los resultados de los coeficientes de determinación de los volúmenes de pulpa dental respecto a la edad hallados en este estudio, mostraron mejores resultados con el primer premolar mandibular tanto en los varones y las mujeres como en el total de muestra (R^2 entre 0.46 y 0.48). También hubo buenos resultados respecto a los caninos maxilares (R^2 entre 0.38 y 0.49). En general, los coeficientes de determinación oscilaron entre 0.367 y 0.458 en los varones, y 0.392 y 0.489 en las mujeres. Los volúmenes tuvieron un comportamiento logarítmico.

Los resultados de los coeficientes de determinación de la investigación de Ge et al. (2016) comparados al este estudio, fueron inferiores respecto a los volúmenes pulpares de los tres tipos de dientes evaluados en este estudio tanto en los varones (R^2 de 0.198 a 0.413) como en las mujeres (R^2 de 0.117 a 0.351). La comparación respecto a la investigación de Star et al. (2011) resultó inferior respecto a los coeficientes del volumen pulpar de los caninos (R^2 de 0.05 a 0.07), pero superior al de los premolares en las mujeres ($R^2=0.77$).

Respecto a los estudios basados en el ratio de la pulpa dental/diente. Hubo similitudes y diferencias que describiremos por cada estudio. Los coeficientes de determinación de la investigación de Biuki et al. (2017) de los caninos fueron superiores al de este estudio en los varones (R^2 entre 0.56 a 0.57) e inferiores en las mujeres (R^2 entre 0.36 y 0.42). Para Gulsahi et al. (2018), los coeficientes de los caninos fueron inferiores al de este estudio en los varones (R^2 entre 0.2 y 0.27). Luego, los coeficientes de los caninos maxilares de las investigaciones de Lee et al. (2017) y Nemsy et al. (2018) fueron superiores al de este estudio (0.52 y 0.70; respectivamente). No obstante, el estudio de De Angelis et al. (2015) encontró resultados inferiores en los varones ($R^2=0.26$), aunque resultó similar en las mujeres ($R^2=0.48$). Finalmente, los coeficientes de la investigación de Jagannathan et al. (2011) de los caninos mandibulares fueron similares al de este estudio (0.39).

Con los datos mencionados antes se presentó un modelo logarítmico múltiple que tanto en los varones como en mujeres, estuvo representada por los caninos maxilares y los primeros premolares mandibulares, con una representación de 60% (varones) y 55% (mujeres) con respecto a la fórmula de estimación de la edad. Esto también coincidió con la fórmula general con una representación de 56%. Es necesario resaltar, que con el análisis múltiple de la estimación de edad explicada por algunos dientes en el presente estudio, se aumentó el nivel de representatividad en la muestra que en comparación a los resultados individuales de los dientes. Por ejemplo en varones se pasó de explicar un 46% con el análisis individual a un 60% con el análisis múltiple, mientras en mujeres se pasó de un 49% a un 55%.

El único estudio que brindó un análisis múltiple de 13 tipos de dientes incluidos los evaluados en este estudio fue de Ge et al. (2016). Al igual que el autor, trabajamos regresiones logarítmicas múltiples. Hemos coincidido con el autor en señalar a los caninos maxilares en ambos sexos y en el total de la muestra. Sin embargo, los primeros premolares mandibulares solo pudieron explicar a los varones según el autor, a diferencia del presente estudio que halló dicho resultado también en ambos sexos.

Existen otros estudios cuyo análisis de estimación de la edad se basó en el ratio del volumen de pulpa/diente y que brindaron resultados de algunos de los dientes anteriores evaluados en este estudio. Los resultados fueron similares respecto al señalar como predictor de edad a los caninos maxilares según De Angelis et al. ($R^2=0.39$), Biuki et al. ($R^2=0.56$), Lee et al. ($R^2=0.53$) y Nemsy et al. ($R^2=0.7$). Los incisivos centrales maxilares según Asif et al. ($R^2=0.88$), Biuki et al. ($R^2=0.72$), Gulsahi et al. ($R^2=0.28$), Pinchi et al. ($R^2=0.58$), Porto et al. ($R^2=0.21$) y Star et al. ($R^2=0.41$). No obstante, hemos diferido en cuanto a otros dientes como señalar a los caninos mandibulares como predictores de edad según Jagannathan et al. ($R^2=0.40$).

En resumen, a pesar de las limitaciones de este tercer estudio, se encontró que la evaluación de imágenes CBCT del volumen de la cavidad pulpar de dientes caninos y premolares se presentan útiles para estimar la edad humana de una muestra peruana. Hubo diferencias significativas entre sexos y volumen pulpar para los caninos maxilares y mandibulares. Todos los análisis de regresión para la estimación de la edad según el volumen de la pulpa dental fueron estadísticamente significativos. Los modelos de regresión logarítmica múltiple consideraron los caninos maxilares y los primeros premolares mandibulares en los varones, las mujeres y en el total de la muestra con un R^2 de 60%, 55% y 56%, respectivamente.

Limitaciones y generalidades.

En primer lugar, el número de muestra evaluada que resultó inferior a 120 participantes, según recomienda una reciente revisión sistemática (Marroquin et al., 2017). Aunque debemos señalar que la muestra seleccionada cumplió con criterios de inclusión específicos para obtener resultados más confiables. No obstante, el modelo respondió a los objetivos planteados y pudieron estimarse las edades con una representación adecuada. Luego, hubo dificultad para realizar las mediciones bajo las mismas condiciones en cada diente, sobretodo, cuando se trataba de delimitar las estructuras dentales. Sin embargo, como estrategia se hizo un entrenamiento y calibración previo.

Con los resultados de los estudios se puede generalizar como complemento a los modelos de estimación de edades por una razón justificada y/o con fines de ampliar las investigaciones en el área, en personas entre 12 y 71 años de edad, varones y mujeres, de una procedencia determinada, que empleen mediciones del volumen completo de la cavidad pulpar en caso de dientes monoradiculares (incisivos centrales, incisivos laterales, caninos, primeros premolares y segundos premolares) y del volumen parciales de la cámara pulpar en caso de dientes multiradiculares (primeros y segundos molares), tanto en maxila como en mandíbula. Cuyo protocolo incluya mediciones a través de imágenes CBCT con uso de software para el cálculo semiautomático del volumen pulpar y análisis de regresiones lineales y/o logarítmicas individuales y/o múltiples.

Consideraciones futuras y razones para justificar la medición del volumen de pulpa dental para la estimar la edad en una muestra determinada.

Basados en la revisión de la literatura y en los resultados llevados a cabo en esta tesis doctoral se ha demostrado que los resultados de las mediciones de volúmenes de pulpa dental pudieron estimar las edades de las diferentes muestras evaluadas con una representatividad adecuada. En el contexto actual donde se justificaría la necesidad de nuevos métodos que aumenten la confiabilidad de los más tradicionales para estimar la edad en personas vivas, surge el rol de las ciencias odontológicas de brindar propuestas que vayan centradas en las estructuras dentales, ya que como elemento más resistente en comparación a los huesos, puede utilizar técnicas menos invasivas y extrapolables a múltiples poblaciones.

IX. CONCLUSIONES

Los estudios realizados muestran que existe una relación entre la edad humana y el volumen del conducto y/o cámara de la pulpa dental evaluados mediante CBCT:

- La edad humana estuvo correlacionada de forma inversa al volumen de cavidad de pulpa dental de dientes monoradiculares y cámara de pulpa dental de dientes multiradiculares vistos en imágenes CBCT de muestras de España, Brasil y Perú.
- El uso de varios tipos de dientes monoradiculares mejoró la precisión de la estimación de la edad en comparación con la observación de un solo tipo de diente utilizando modelos de regresiones múltiples en muestras de Brasil y Perú.
- La evaluación de imágenes CBCT del volumen de la cavidad pulpar de los caninos maxilares y primeros premolares mandibulares se presentaron útiles en las fórmulas para estimar la edad humana de una muestra de España, Brasil y Perú.

X. CONCLUSÕES

Estudos mostram que existe uma relação entre a idade humana e o volume do ducto e / ou câmara da polpa dental avaliado pela TCFC:

- A idade humana foi inversamente correlacionada ao volume da cavidade pulpar dos dentes monorradiculares e câmara pulpar dos dentes multirradiculares vistos em imagens de TCCB de amostras da Espanha, Brasil e Peru.
- O uso de vários tipos de dentes monorradiculares melhorou a precisão da estimativa de idade em comparação com a observação de um único tipo de dente usando modelos de regressão múltipla em amostras do Brasil e do Peru.
- A avaliação das imagens de TCFC do volume da cavidade pulpar dos caninos superiores e primeiros pré-molares mandibulares foi útil nas fórmulas para estimar a idade humana de uma amostra da Espanha, Brasil e Peru.

XI. REFERENCIAS

- Agogo, D., Hajjat, F., Milne, G. R., Schewe, C. D., & Perrott, B. (2017). An empirical examination of subjective age in older adults. *Health Marketing Quarterly*, 34(1), 62-79.
- Asif, M. K., Nambiar, P., Mani, S. A., Ibrahim, N. B., Khan, I. M., & Sukumaran, P. (2018). Dental age estimation employing CBCT scans enhanced with mimics software: Comparison of two different approaches using pulp/tooth volumetric analysis. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 54, 53-61.
- Baba, R., Konno, Y., Ueda, K., & Ikeda, S. (2002). Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT. *Computerized Medical Imaging and Graphics: The Official Journal of the Computerized Medical Imaging Society*, 26(3), 153-158.
- Bassed, R. B., Briggs, C., & Drummer, O. H. (2011). Age estimation and the developing third molar tooth: An analysis of an Australian population using computed tomography. *Journal of Forensic Sciences*, 56(5), 1185-1191.
- Biuki, N., Razi, T., & Faramarzi, M. (2017). Relationship between pulp-tooth volume ratios and chronological age in different anterior teeth on CBCT. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(5), e688-e693.
- Bjork, M. B., & Kvaal, S. I. (2018). CT and MR imaging used in age estimation: A systematic review. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 1(36), 14-25.
- Bodecker, C. F. (1925). A consideration of some of the changes in the teeth from young to old age. *Dental Cosmos*, 67, 543-549.
- Cameriere, R., De Luca, S., Egidi, N., Bacaloni, M., Maponi, P., Ferrante, L., et al. (2015). Automatic age estimation in adults by analysis of canine pulp/tooth ratio: Preliminary results doi:<https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.10.001>
- Cameriere, R., Ferrante, L., & Cingolani, M. (2004). Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: A preliminary study. *Journal of Forensic Sciences*, 49(2), 317-319.
- Cameron, N. (2015). Can maturity indicators be used to estimate chronological age in children? *Annals of Human Biology*, 42(4), 302-307.
- Chu, G., Zhang, Z. Y., Zhou, H., Yan, C. X., Chen, T., & Guo, Y. C. (2018). Research progress of age estimation based on age-related changes of dentin-pulp complex. *Fa Yi Xue Za Zhi*, 34(3), 280-285.
- De Angelis, D., Gaudio, D., Guercini, N., Cipriani, F., Gibelli, D., Caputi, S., et al. (2015). Age estimation from canine volumes. *La Radiologia Medica*, 120(8), 731-736.
- De Angelis, D., Gibelli, D., Fabbri, P., & Cattaneo, C. (2015). Dental age estimation helps create a new identity. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 36(3), 219-220.
- De Luca, S., Alemán, I., Bertoldi, F., Ferrante, L., Mastrangelo, P., Cingolani, M., et al. (2010). Age estimation by tooth/pulp ratio in canines by peri-apical X-rays: Reliability in age determination of Spanish and Italian medieval skeletal remains doi:<https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.06.034>
- De Vos, W., Casselman, J., & Swennen, G. R. (2009). Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 38(6), 609-625.
- Ge, Z. P., Ma, R. H., Li, G., Zhang, J. Z., & Ma, X. C. (2015). Age estimation based on pulp chamber volume of first molars from cone-beam computed tomography images. *Forensic Science International*, 253, 133.e1-133.e7.
- Ge, Z. P., Yang, P., Li, G., Zhang, J. Z., & Ma, X. C. (2016). Age estimation based on pulp cavity/chamber volume of 13 types of tooth from cone beam computed tomography images. *International Journal of Legal Medicine*, 130(4), 1159-1167.
- Gulsahi, A., Kulah, C. K., Bakirarar, B., Gulen, O., & Kamburoglu, K. (2018). Age estimation based on pulp/tooth volume ratio measured on cone-beam CT images. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 47(1), 20170239.
- Gupta, S., Agnihotri, A., Chandra, A., & Gupta, O. P. (2014). Contemporary practice in forensic odontology. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology: JOMFP*, 18(2), 244-250.

- Gurses, M. S., Inanir, N. T., Gokalp, G., Fedakar, R., Tobcu, E., & Ocakoglu, G. (2016). Evaluation of age estimation in forensic medicine by examination of medial clavicular ossification from thin-slice computed tomography images. *International Journal of Legal Medicine*, 130(5), 1343-1352.
- Gustafson, G. (1950). Age determination on teeth. *Journal of the American Dental Association* (1939), 41(1), 45-54.
- Jagannathan, N., Neelakantan, P., Thiruvengadam, C., Ramani, P., Premkumar, P., Natesan, A., et al. (2011). Age estimation in an indian population using pulp/tooth volume ratio of mandibular canines obtained from cone beam computed tomography. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 29(1), 1-6.
- Jia, L., Zhang, W., & Chen, X. (2017). Common methods of biological age estimation. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 759-772.
- Jones, M., Gordon, G., & Brits, D. (2018). Age estimation accuracies from black south african os coxae. *Homo : Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen*.
- Kvaal, S. I., Kolltveit, K. M., Thomsen, I. O., & Solheim, T. (1995). Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Science International*, 74(3), 175-185.
- Lee, S., Oh, S., Kim, J., Kim, Y., Choi, Y., Kwak, H. H., et al. (2017). Age estimation using the maxillary canine pulp/tooth ratio in korean adults: A CBCT buccolingual and horizontal section image analysis doi:<https://doi.org/10.1016/j.jofri.2016.12.001>
- Lewis, J. M., & Senn, D. R. (2015). Forensic dental age estimation: An overview. *Journal of the California Dental Association*, 43(6), 315-319.
- Limdiwala, P. G., & Shah, J. S. (2013). Age estimation by using dental radiographs. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 5(2), 118-122.
- Liversidge, H. M., Buckberry, J., & Marquez-Grant, N. (2015). Age estimation. *Annals of Human Biology*, 42(4), 299-301.
- Ludlow, J. B., & Ivanovic, M. (2008). Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 106(1), 106-114.
- Manzoor Mughal, A., Hassan, N., & Ahmed, A. (2014). Bone age assessment methods: A critical review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 30(1), 211-215.
- Maret, D., Peters, O. A., Dedouit, F., Telmon, N., & Sixou, M. (2011). Cone-beam computed tomography: A useful tool for dental age estimation? doi:<https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.01.039>
- Marroquin, T. Y., Karkhanis, S., Kvaal, S. I., Vasudavan, S., Kruger, E., & Tennant, M. (2017). Age estimation in adults by dental imaging assessment systematic review doi:<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.03.007>
- Meinl, A., Tangl, S., Pernicka, E., Fenes, C., & Watzek, G. (2007). On the applicability of secondary dentin formation to radiological age estimation in young adults. *Journal of Forensic Sciences*, 52(2), 438-441.
- Murray, P. E., Stanley, H. R., Matthews, J. B., Sloan, A. J., & Smith, A. J. (2002). Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 93(4), 474-482.
- Nemsi, H., Haj Salem, N., Bouanene, I., Ben Jomaa, S., Belhadj, M., Mosrati, M. A., et al. (2017). Age assessment in canine and premolar by cervical axial sections of cone-beam computed tomography. *Legal Medicine (Tokyo, Japan)*, 28, 31-36.
- Panchbhavi, A. S. (2011). Dental radiographic indicators, a key to age estimation. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 40(4), 199-212.
- Pinchi, V., Pradella, F., Buti, J., Baldinotti, C., Focardi, M., & Norelli, G. A. (2015). A new age estimation procedure based on the 3D CBCT study of the pulp cavity and hard tissues of the teeth for forensic purposes: A pilot study. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 36, 150-157.
- Porto, L. V., Celestino da Silva Neto, J., Anjos Pontual, A. D., & Catunda, R. Q. (2015). Evaluation of volumetric changes of teeth in a brazilian population by using cone beam computed tomography. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 36, 4-9.
- Qu, X. M., Li, G., Zhang, Z. Y., & Ma, X. C. (2011). Comparative dosimetry of dental cone-beam computed tomography and multi-slice computed tomography for oral and maxillofacial radiology.

- Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi = Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi = Chinese Journal of Stomatology*, 46(10), 595-599.
- Queiroz, C. L., Silva, R. F., & Silva, R. H. A. (2016). Computed tomography use on age estimation in forensic dentistry: A review. *Journal of Forensic Science & Criminology*, 4(1)
- Rajpal, P. S., Krishnamurthy, V., Pagare, S. S., & Sachdev, G. D. (2016). Age estimation using intraoral periapical radiographs. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 8(1), 56-57.
- Rodt, T., Luepke, M., Boehm, C., von Falck, C., Stamm, G., Borlak, J., et al. (2011). Phantom and cadaver measurements of dose and dose distribution in micro-CT of the chest in mice. *Acta Radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*, 52(1), 75-80.
- Sakuma, A., Saitoh, H., Suzuki, Y., Makino, Y., Inokuchi, G., Hayakawa, M., et al. (2013). Age estimation based on pulp cavity to tooth volume ratio using postmortem computed tomography images. *Journal of Forensic Sciences*, 58(6), 1531-1535.
- Sarment, D. P., & Christensen, A. M. (2014). The use of cone beam computed tomography in forensic radiology. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(4), 173-181.
- Saunders, E. (1837). The teeth a test of age.2, 492-496.
- Schmeling, A., Dettmeyer, R., Rudolf, E., Vieth, V., & Geserick, G. (2016). Forensic age estimation. *Deutsches Arzteblatt International*, 113(4), 44-50.
- Shahin, K. A., Chatra, L., & Shenai, P. (2013). *Dental and craniofacial imaging in forensics* doi:<https://doi.org/10.1016/j.jofri.2012.12.001>
- Shamim, T. (2018). Oral pathology in forensic investigation. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 8(1), 1-5.
- Someda, H., Saka, H., Matsunaga, S., Ide, Y., Nakahara, K., Hirata, S., et al. (2009). Age estimation based on three-dimensional measurement of mandibular central incisors in japanese. *Forensic Science International*, 185(1-3), 110-114.
- Star, H., Thevissen, P., Jacobs, R., Fieuws, S., Solheim, T., & Willems, G. (2011). Human dental age estimation by calculation of pulp-tooth volume ratios yielded on clinically acquired cone beam computed tomography images of monoradicular teeth. *Journal of Forensic Sciences*, 56 Suppl 1, S77-82.
- Sykes, L., Bhayat, A., & Bernitz, H. (2017). The effects of the refugee crisis on age estimation analysis over the past 10 years: A 16-country survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 10.3390/ijerph14060630.
- Vandevoort, F. M., Bergmans, L., Van Cleynenbreugel, J., Bielen, D. J., Lambrechts, P., Wevers, M., et al. (2004). Age calculation using X-ray microfocus computed tomographical scanning of teeth: A pilot study. *Journal of Forensic Sciences*, 49(4), 787-790.
- Vodanovic, M., Dumancic, J., Galic, I., Savic Pavicin, I., Petroveck, M., Cameriere, R., et al. (2011). Age estimation in archaeological skeletal remains: Evaluation of four non-destructive age calculation methods. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 29(2), 14-21.
- Yang, F., Jacobs, R., & Willems, G. (2006). Dental age estimation through volume matching of teeth imaged by cone-beam CT. *Forensic Science International*, 159 Suppl 1, S78-83.

XII. ANEXO: Figuras



Hospital Clínico San Carlos

Comunidad de Madrid

CEIC Hospital Clínico San Carlos

Dictamen Favorable
Proyecto Investigación Biomédica

C.I. 17/204-E_Tesb

17 de mayo de 2017

INFORME DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA

Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

CERTIFICA

Que el proyecto de investigación titulado "Estimación de la edad humana basada en el volumen de la cámara pulpar de dientes molares mediante imágenes de tomografía computarizada Cone-beam." con código interno nº 17/204-E_Tesis del que es autor D. Kilder Maynor Carranza Samanez y directoras/tutoras la Dra. Gloria Saavedra Marbán y la Dra. María Rosa Mourelle Martínez de la Facultad del Odontología, Departamento de Estomatología IV, (Profilaxis, Odontopediatría y Ortodoncia) de la Universidad Complutense de Madrid, ha sido estudiado por este Comité, no habiéndose realizado objeción alguna al mismo.

Es por ello que el Comité informa favorablemente sobre la realización de dicho proyecto.

Lo que firmo en Madrid, a 17 de mayo de 2017



Hospital Clínico
San Carlos
Comunidad de Madrid

Fdo: Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

XIII. Anexo: Resumen en inglés. Abstract

Background:

The estimation of the age of individuals is an area of forensic science, which is becoming increasingly important for the evaluation of both legal and social categorization. There are several methods to determine the age, however, the estimation is more difficult when it is about to living people. In most cases, evaluations are limited in time and precision, either because the maturation process has been completed or because environmental factors often influence degenerative processes. New lines of research seek to estimate the age according to the dental pulp. This is explained by its possible relationship with the morphological changes of the pulp wall resulting from the deposition of secondary dentine. Cone Beam computed tomography (CBCT) can help reduce the variation in pulp volumes. The study hypothesis was that there is a relationship between human age and the volume of the cavity and / or chamber of the dental pulp evaluated by CBCT.

Aim:

The aim of this series of works was to analyze the correlation of human age in a Spanish sample and the measurement of the volume of the pulp cavity in posterior teeth by using CBCT (Study 1), to compare the accuracy of the estimation of human age by volumetric analysis (CBCT) of six anterior teeth individually or group form of a Brazilian sample (Study 2); and determine if it is possible to estimate the human age of a Peruvian sample by a method based on measuring the volume of the pulp cavity of CBCT taken from canine and premolar teeth (Study 3).

Materials and methods:

Study 1. Images (CBCT) of 105 Spanish individuals (46 men and 59 women) between 12 and 71 years old were collected. In total, images of 95 premolars and 148 molars were analyzed from the database of a private radiology clinic. The inclusion criteria of the teeth were: no decay, no lesions or calcification of the pulp and no dental treatment. The DICOM data were imported into the ITK-SNAP 3.6 software to calculate the volume of the pulp cavity in premolars and the volume of the pulp chamber in the molars. Logarithmic regression models were obtained to analyze the relationship between age and pulp volume.

Study 2. Images (CBCT) of 70 Brazilian individuals (32 men and 38 women) aged between 13 and 71 years were collected. In total, 420 images were analyzed between six types of teeth (maxillary and mandibular central incisors, lateral incisors and canines) from the database of a university dental radiology clinic. The inclusion criteria of the teeth were: no decay, no lesions or calcification of the pulp and no dental treatment. The DICOM data was imported into ITK-SNAP 3.6 for the calculation of the volumes of the pulp cavity. Multiple linear regression models were analyzed to evaluate the relationship between age and pulp volume of teeth.

Study 3. Images (CBCT) of 55 Peruvian individuals (19 men and 36 women) between 12 and 71 years old were collected. In total, 55 images of maxillary canines (U3), 55 mandibular canines (L3) and 55 mandibular first premolar (L4) were analyzed from the database of a university dental radiology clinic. The inclusion criteria of the teeth were: no decay, no lesions or calcification of the pulp and no dental treatment. The DICOM data was imported into ITK-SNAP 3.6 for the calculation of the volumes of the pulp cavity. Logarithmic regression models were obtained to analyze the relationship between age and pulp volume.

Results:

Study 1. The regression model showed the highest coefficient of determination (R^2) for the first maxillary molars and the first mandibular premolars in males (89.7% and 73.4%, respectively); and mandibular first molars and mandibular first premolars in women (74% and 73%, respectively). The lowest values of the residual standard error in all age groups were found with the first mandibular premolars (6.24) of people over the age of 31, the first upper molars (7.86) of people under 40 years of age and the first mandibular molars (8.09) of people under 60 years of age.

Study 2. Linear regression models of anterior teeth were derived to predict age. A higher coefficient of determination (R^2) was found in mandibular central incisors of males ($R^2 = 0.605$) and maxillary canines of women ($R^2 = 0.479$). The multiple linear regression analysis by inverse method among the six types of teeth considered the combination of maxillary canines, upper central incisors and mandibular lateral incisors in men ($R^2 = 0.738$) and the combination of upper lateral incisors and mandibular central incisors in women ($R^2 = 0.661$).

Study 3. Logarithmic regression models of all teeth were obtained to predict age. The first mandibular premolars had the highest R2 in women ($R^2 = 0.483$), followed by men ($R^2 = 0.458$) and the total number of samples ($R^2 = 0.457$). The analysis of multiple logarithmic regression by inverse method between the three types of teeth considered the combination of maxillary canines and mandibular first premolars in men ($R^2 = 0.601$), women ($R^2 = 0.552$) and the total of grouped genres ($R^2 = 0.559$).

Conclusions: After the analysis of the three studies, it can be concluded that the volume of dental pulp has an inverse relationship with age, increasing its accuracy with the analysis of multiple teeth, being a useful variable to estimate the age with satisfactory accuracy.

KEY WORDS: Age estimation, Cone-beam CT, pulp cavity volumen, secondary dentine and forensic sciences.

XIV. Anexo: Resumen en portugués. Resumo

Antecedentes:

A idade estimada de indivíduos é uma área da ciência forense, que está se tornando cada vez mais importante para avaliar tanto a qualificação jurídica como social. Existem vários métodos para determinar a idade, no entanto, a estimativa é mais difícil quando se trata de pessoas vivas. Na maioria dos casos, as avaliações são limitadas no tempo e com precisão, porque o processo de amadurecimento é concluída ou porque fatores ambientais muitas vezes influenciar os processos degenerativos. Novas linhas de pesquisa buscam estimar a idade de acordo com a polpa dentária. Isso é explicado pela sua possível relação com as alterações morfológicas da parede pulpar, resultantes da deposição da dentina secundária. A tomografia computadorizada Cone Beam (CBCT) pode ajudar a reduzir a variação nos volumes de polpa. A hipótese do estudo foi que existe uma relação entre a idade humano e o volume do canal e / ou da câmara de polpa dentária avaliada por TCCB.

Objectivo: O objectivo desta série de trabalho foi analisar a correlação de idade humana numa amostra Espanhol e medindo o volume da cavidade pulpar em dentes posteriores usando a TCCB (Estudo 1), comparando a precisão da estimativa idade humana através da análise volumétrica da TCFC de seis dentes anteriores individualmente ou em grupos de uma amostra brasileira (Estudo 2); e determinar se é possível estimar a idade de uma amostra peruana humano por um método baseado na medição do volume da cavidade a TCCB polpa feita de caninos e pré-molares (Estudo 3) Método dentes.

Materiais e métodos:

Estudo 1. Foram coletadas imagens de CBCT de 105 indivíduos espanhóis (46 homens e 59 mulheres) entre 12 e 71 anos de idade. No total, imagens de 95 pré-molares e 148 molares foram analisadas a partir do banco de dados de uma clínica de radiologia privada. Os critérios de inclusão dos dentes foram: ausência de decaimento, ausência de lesões ou calcificação da polpa e ausência de tratamento odontológico. DICOM dados foram importados para ITK-SNAP 3,6 software para calcular o volume da cavidade pulpar em pré-molares e o volume da câmara de polpa em molares. Modelos de regressão logarítmica foram obtidos para analisar a relação entre idade e volume de polpa.

Estudo 2. Foram coletadas imagens de TCFC de 70 indivíduos brasileiros (32 homens e 38 mulheres) com idades entre 13 e 71 anos. No total, 420 imagens seis tipos de dentes (incisivos centrais superiores e incisivos laterais inferiores e caninos) da base de dados de uma clínica dentária universidade radiologia analisados. Os critérios de inclusão dos dentes foram: ausência de decaimento, ausência de lesões ou calcificação da polpa e ausência de tratamento odontológico. Os dados do DICOM foram importados para o ITK-SNAP 3.6 para o cálculo dos volumes da cavidade de celulose. Modelos de regressão linear múltipla foram analisados para avaliar a relação entre idade e volume de polpa.

Estudo 3. Foram coletadas imagens de CBCT de 55 indivíduos peruanos (19 homens e 36 mulheres) entre 12 e 71 anos de idade. No total, 55 imagens de caninos superiores (U3), 55 caninos inferiores (L3) e pré-molares da mandíbula 55 primeiras (L4) da base de dados de uma clínica dentária universidade radiologia analisados. Os critérios de inclusão dos dentes foram: ausência de decaimento, ausência de lesões ou calcificação da polpa e ausência de tratamento odontológico. Os dados do DICOM foram importados para o ITK-SNAP 3.6 para o cálculo dos volumes da cavidade de celulose. Modelos de regressão logarítmica foram obtidos para analisar a relação entre idade e volume de polpa.

Resultados:

Estudo 1. O modelo de regressão mostrou o maior coeficiente de determinação (R^2) para os primeiros molares e pré-molares mandibulares primeiros nos homens (89,7% e 73,4%, respectivamente); Primeiros molares inferiores e mandibulares e primeiros pré-molares inferiores em mulheres (74% e 73%, respectivamente). Os menores valores de erro padrão residual em todos os grupos etários, foram encontrados com os primeiros pré-molares inferiores (6,24) de pessoas com mais de 31, os primeiros molares superiores (7,86) de pessoas com menos de 40 anos os primeiros molares inferiores (8,09) das pessoas com menos de 60 anos de idade.

Estudo 2. Modelos de regressão linear de dentes anteriores foram derivados para prever a idade. Um maior coeficiente de determinação (R^2) foi encontrado nas incisivos centrais inferiores de machos ($R^2 = 0,605$) e mulheres canino superior ($R^2 = 0,479$). O método múltipla inversa de regressão linear entre os seis tipos de dentes consideradas a combinação de canino, incisivos e incisivos centrais incisivos laterais nos machos ($R^2 = 0,738$) e a

combinação dos incisivos superiores e os incisivos laterais inferiores (R² = 0,661).

Estudo 3. Modelos de regressão logarítmica de todos os dentes foram obtidos para prever a idade. Os primeiros pré-molares mandibulares apresentaram o maior R² nas mulheres (R² = 0,483), seguido pelos homens (R² = 0,458) e o número total de amostras (R² = 0,457). A análise da regressão logarítmica múltipla pelo método inverso entre os três tipos de dentes considerou a combinação de caninos superiores e primeiros pré-molares inferiores em homens (R² = 0,601), mulheres (R² = 0,552) e o total de gêneros agrupados (R² = 0,559).

Conclusões: Após a análise dos três estudos, pode-se concluir que o volume de polpa dentária tem relação inversa com a idade, aumentando sua acurácia com a análise de múltiplos dentes, sendo uma variável útil para estimar a idade com acurácia satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Estimativa da idade, feixe cônico TC, volume da cavidade pulpar, volume da câmara pulpar, ciências forenses.